This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

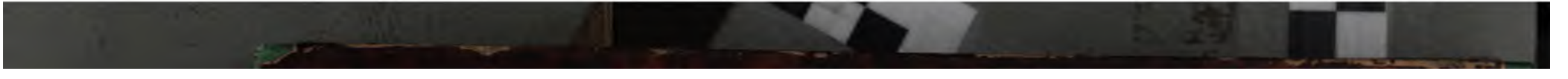
+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

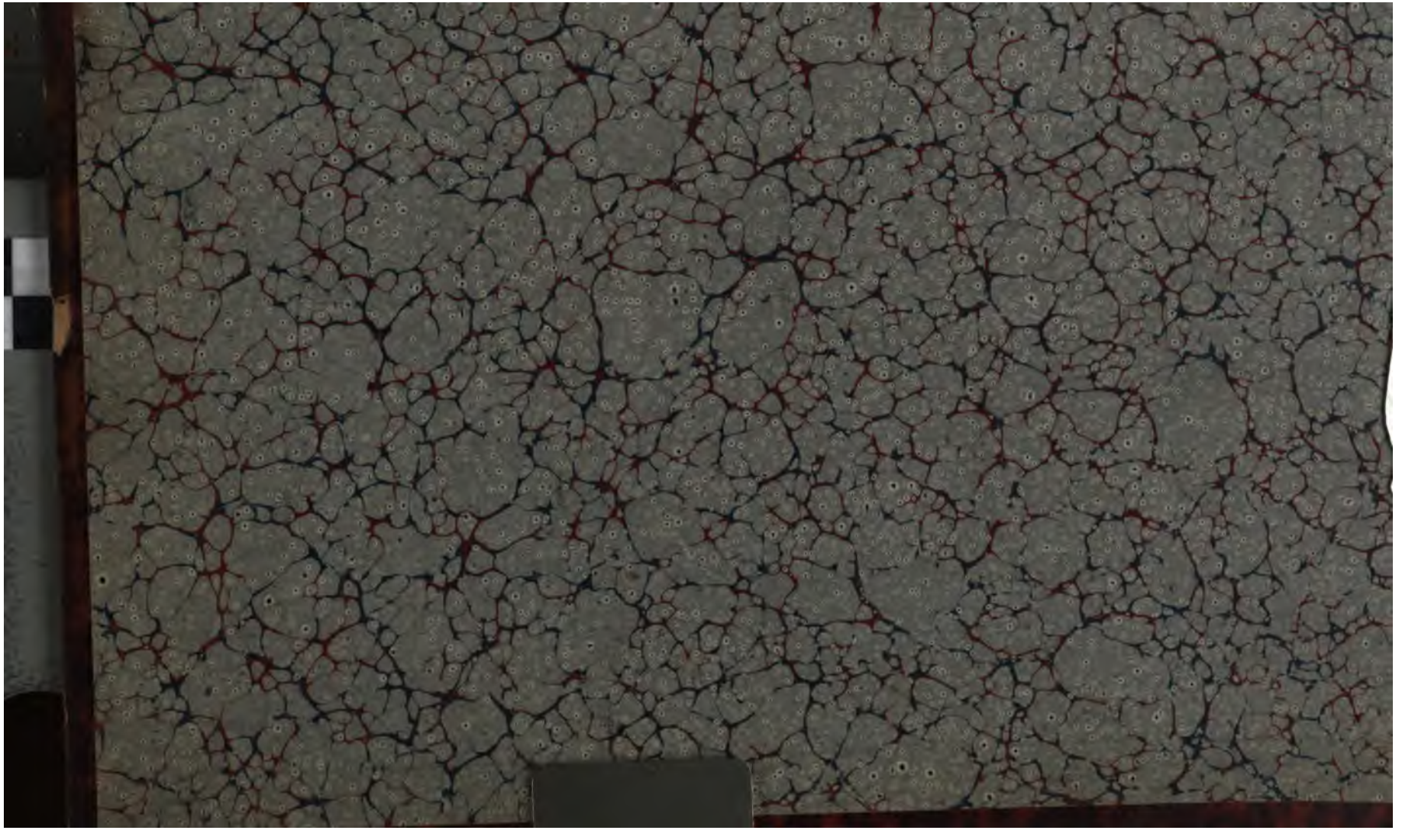
+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

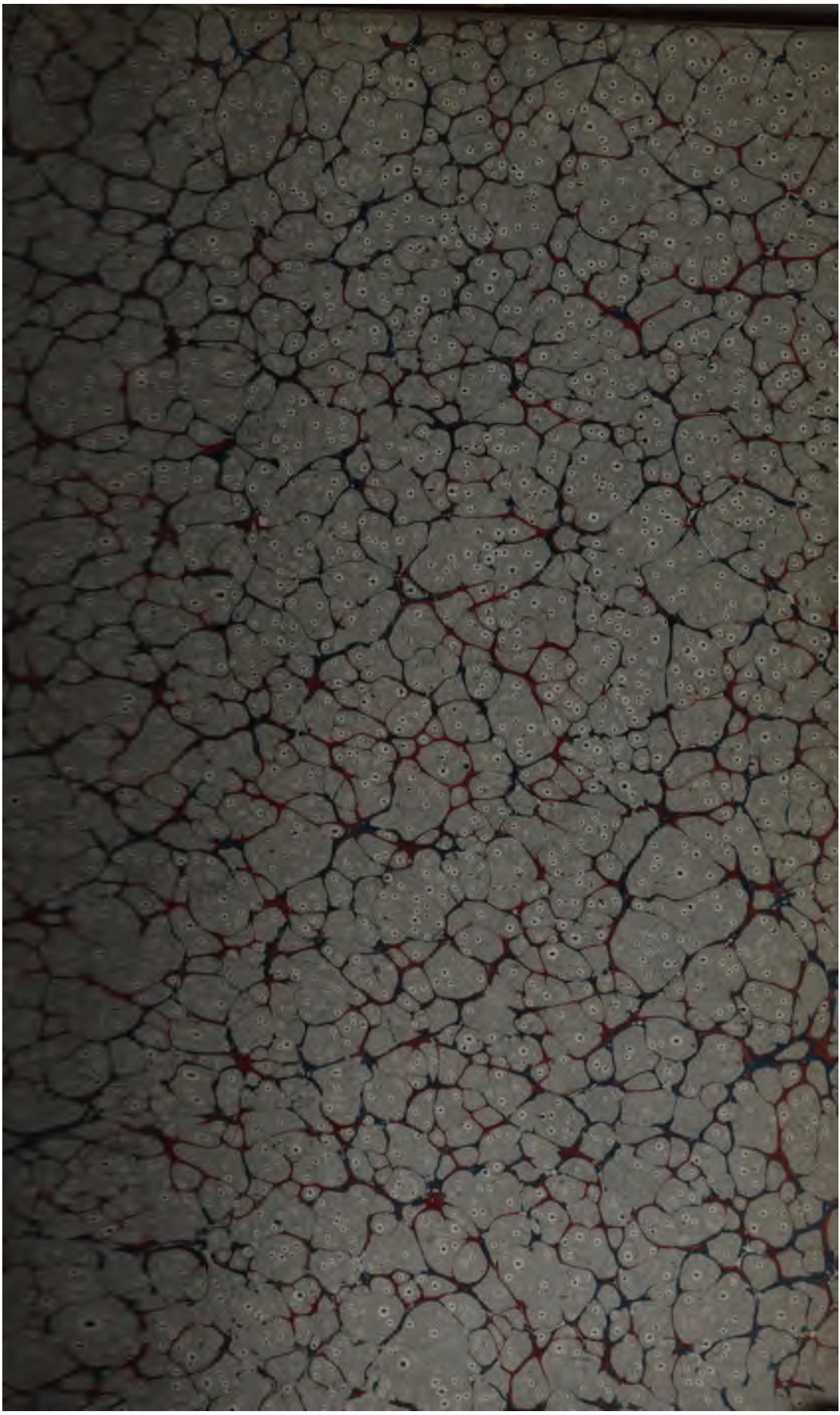
+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`







MATÉRIAUX

POUR

L'ÉTUDE DES GLACIERS

MATÉRIAUX POUR L'ÉTUDE DES GLACIERS

PAR DOLLFUS-AUSSET

SOMMAIRE DES VOLUMES

Tome I. — Auteurs qui ont traité des hautes régions des Alpes et des glaciers et sur quelques questions qui s'y rattachent.

Tome II. — Hautes régions des Alpes. — Géologie. — Météorologie. — Physique du globe.

Tome III. — Phénomènes erratiques.

Tome IV. — Ascensions.

Tome V. — Glaciers en activité.

Atlas. — Tableaux météorologiques. — Carte du massif du Finster-Aarhon. — Illustrations glaciaires.

PARIS. — IMP. SIMON RAÇON ET COMP., RUE D'ERFURTH, 1

MATÉRIAUX

POUR

L'ÉTUDE DES GLACIERS

PAR

DOLLFUS-AUSSET

TOME TROISIÈME

PHÉNOMÈNES ERRATIQUES

... Die Naturlehre war vor ein paar hundert Jahren durch die Experimente, so nach der Zeit gemacht, noch nicht festgesetzt. — Die Weltweisheit war durch die barbarische Schulfuchserei auf den höchsten Grad der Dunkelheit gestiegen, zu welchem sie sich in unsern Zeiten durch die eingeführten scholastischen Kunstwörter wieder zu neigen scheinet, und die ungelehrte Geistlichkeit überredete die gemeinen Leute solche Dinge, die von allem Grund der Wahrheit weit entfernt waren.

ALTMANN, JOH. GEORG., 1755

PARIS

F. SAVY, ÉDITEUR

LIBRAIRE DES SOCIÉTÉS GÉOLOGIQUE ET MÉTÉOROLOGIQUE DE FRANCE

24, RUE HAUTEFEUILLE

1865

MATÉRIAUX

POUR

L'ÉTUDE DES GLACIERS.

PHÉNOMÈNES ERRATIQUES.

Phénomènes erratiques dans les Alpes.

C. 79[1]. La personne que j'ai entendue pour la première fois émettre l'opinion que les débris erratiques ont été transportés par des glaciers, est un bon et intelligent montagnard, nommé **J. P. Perraudin**, passionné chasseur de chamois, encore vivant au *hameau de Lourtier*, dans la vallée de Bagnes. Transport des débris erratiques par les glaciers.

Revenant en 1815 des beaux glaciers du fond de cette vallée et désirant me rendre le lendemain par la montagne de Mille au grand Saint-Bernard, je passai la nuit dans sa chaumière. La conversation durant la soirée roula sur les particularités de sa contrée et principalement sur les glaciers qu'il avait beaucoup parcourus et qu'il connaissait fort bien. **J. P. Perraudin** me dit : « *Les glaciers de « nos montagnes ont eu jadis une bien plus grande extension qu'au- « jourd'hui. Toute notre vallée, jusqu'à une grande hauteur au-dessus « de la Drance (torrent de la vallée), a été occupée par un vaste glacier* J. P. Perraudin 1815.

[1] D. A. Les paragraphes C (de Charpentier) sont extraits de l'*Essai sur les glaciers et sur le terrain erratique du bassin du Rhône*, par **Jean de Charpentier**, directeur des mines du canton de Vaud. Lausanne, Marc Ducloux, éditeur, 1841, 1 vol. in-8°, avec des vignettes, des planches et une carte du terrain erratique du bassin du Rhône. Pl. I^re^, pierre des Marmettes; pl. II, pierre à Dzo; pl. III, pierre du Four; pl. IV, pierre des Mourguets; pl. V, pierre à Milan; pl. VI, pierre de la poudrière de Sion du côté de l'est; pl. VII, pierre de la poudrière du côté du sud; pl. VIII, glacier du Rhône.

Les paragraphes C portent les mêmes chiffres que ceux de l'ouvrage de M. de Charpentier.

« qui se prolongeait jusqu'à Martigny, comme le prouvent les blocs « de roches qu'on trouve dans les environs de cette ville et qui sont « trop gros pour que l'eau ait pu les y amener. »

Quoique le brave **Perraudin** ne fît aller son glacier que jusqu'à Martigny, probablement parce que lui-même n'avait peut-être guère été plus loin, et quoique je fusse bien de son avis relativement à l'impossibilité du transport des blocs erratiques par le moyen de l'eau, je trouvai néanmoins son hypothèse si extraordinaire, si extravagante même, que je ne jugeai pas qu'elle valût la peine d'être méditée et prise en considération [1].

Venetz 1829. J'avais presque oublié cette conversation, lorsqu'au printemps de 1829, **M. Venetz** *vint me dire aussi que ses observations le portent à croire que non-seulement la vallée d'Entremonts, mais que tout le Valais avait été jadis occupé par un glacier qui s'était étendu jusqu'au Jura, et qui avait été la cause du transport des débris erratiques.*

[1] C. J'ai rencontré encore dans d'autres parties de la Suisse des montagnards qui croient également à une plus grande extension des glaciers dans les temps anciens et qui leur attribuent aussi le transport des blocs erratiques. Lorsqu'en 1834 je passai par la vallée du Hasli et par celle de Lungern, pour assister à Lucerne à la réunion de la Société helvétique des sciences naturelles, je joignis sur la route du Brunig un bûcheron de Meiringen. Je liai conversation avec lui, et nous fîmes un bout de chemin ensemble. Me voyant examiner un gros bloc de granit du Grimsel qui gisait au bord du sentier, il me dit : « *Il y a beaucoup de ces pierres par ici, mais elles viennent de loin ; elles « viennent toutes du Grimsel, car c'est du* **Gelsberger** (nom du granit en allemand « suisse), *et les montagnes des environs n'en sont pas.* » Sur ma question comment il croyait que ces pierres avaient pu arriver jusqu'ici, il me répondit sans hésiter : « *Le « glacier du Grimsel les a amenées et déposées des deux côtés de la vallée ; car ce « glacier s'est étendu jadis jusqu'à la ville de Berne ; en effet, continua-t-il, l'eau « n'aurait pu les déposer à une aussi grande hauteur au-dessus du sol de la vallée sans « combler les lacs* » (ceux de Brienz et de Thun). Ce brave homme ne se doutait certes guère que je portais dans ma poche un mémoire en faveur de son hypothèse, destiné à être lu à la Société helvétique des sciences naturelles. Et grand fut son étonnement lorsqu'il vit le plaisir que me causait son explication géologique et lorsqu'il reçut de quoi boire au souvenir de l'*ancien glacier du Grimsel* et à la conservation des blocs du Brunig. J'ai trouvé également dans la *vallée de Ferret*, et **M. de Gulmps**, dans les environs d'Yverdun, *des paysans qui attribuent le transport des blocs erratiques à des glaciers.* Enfin, **M. Brard** rapporte (*Dictionnaire des sciences naturelles*, t. XIX, p. 16) que le nommé **Marie Deville**, de la *vallée de Chamounix, attribuait également aux glaciers le transport des blocs de protogine que l'on trouve sur quelques éminences de cette vallée, et les sillons parallèles qu'on y observe sur des roches schisteuses.*

J'avais trouvé extraordinaire et invraisemblable la supposition d'un glacier s'étendant du fond de la vallée de *Bagnes* jusqu'à *Martigny*, mais je trouvais réellement folle et extravagante l'idée d'un glacier de plus de 60 lieues de longueur, occupant non-seulement le Valais, mais recouvrant même tout l'espace entre les *Alpes* et le *Jura*, et entre *Genève* et *Soleure*. Au premier abord cette hypothèse me parut être en opposition manifeste avec tous les principes de physique et de géologie, et entièrement contraire à tous les faits qui prouvent l'ancienne élévation de température. Comment concevoir en effet qu'un glacier eût pu couvrir une contrée qui doit avoir joui jadis d'un climat propre à faire prospérer des palmiers, comme le prouvent les empreintes de *Chamærops* qu'on trouve dans des couches supérieures de la *molasse* de la Basse-Suisse?

Pour convaincre mon ami de l'erreur où il me semblait être tombé, je m'appliquai à étudier d'une manière spéciale le terrain erratique et toutes les circonstances qui l'accompagnent. Mais cette étude me conduisit à un résultat tout opposé à celui auquel je m'étais attendu. En effet, loin de me fournir des arguments contre l'hypothèse des glaciers, *je reconnus clairement qu'elle explique de la manière la plus satisfaisante le terrain erratique jusque dans ses moindres détails et tous les phénomènes qui s'y rattachent.* Néanmoins je restai dans le doute jusqu'au moment où je crus être parvenu à concilier l'existence de ces **glaciers monstres** avec les faits qui prouvent l'ancienne élévation de la température. Croyant avoir trouvé la solution de ce problème, je rédigeai un mémoire sous le titre de *Notice sur la cause probable du transport des blocs erratiques de la Suisse*[1]. J'en fis lecture à la Société helvétique des sciences naturelles, réunie à Lucerne en juillet 1834, et il fut inséré en 1835 dans le huitième volume des *Annales des mines*. De Charpentier 1834.

Malgré l'extrême imperfection de ce petit travail, j'atteignis cependant le but que je m'étais proposé de réveiller et d'attirer de nouveau l'attention des géologues sur un phénomène qu'ils semblaient avoir abandonné entièrement depuis quelques années; et pourtant c'est sans contredit le phénomène le plus remarquable qui

[1] C. On ne pourra donc pas m'accuser d'avoir adopté l'hypothèse des glaciers sans examen suffisant et sans y avoir mûrement réfléchi; ni, comme le dit **M. Jean André de Luc**, par suite d'une connaissance imparfaite des faits.

soit arrivé depuis la grande révolution qui a changé la surface du globe. C'est ce mémoire qui a engagé **M. Agassiz** à étudier les glaciers et le terrain erratique (voy. sa lettre lue à la séance de l'Institut du 2 octobre 1837, et insérée dans le nº 2907 du feuilleton du *Temps*). Il y a peu de jours que mon savant ami, **M. Studer**, m'a communiqué un extrait d'une analyse des éléments géologiques de **M. Lyell**, insérée dans la *Revue d'Édimbourg*, juillet 1839. Il y est dit que, déjà en 1815, le célèbre **Playfair** avait attribué aux glaciers le transport des débris erratiques [1].

Agassiz 1837.

Playfair 1815.

Le génie de **Gœthe** a également reconnu que ce même agent doit être la cause de ce transport [2]. J'ignore quand ce grand homme

Gœthe 1829.

[1] C. Voici le passage que **M. Studer** a eu la complaisance de me communiquer :

« An other hypothesis lately brought forward in Schwitzerland accounts for the erratics of the Jura by supposing the valley now separating that range from the central chaine of the Alps, to have been once filled up with ice, and these blocks detached from some of the highest alpine ridges, to have formed what are called *moraines* of the glaciers. Our readers will find this speculation mentionned by the late professor **Playfair** works, vol. 1, p. 29, and we are not certain that this view of the subject hat been taken before. In the notes of a tour in 1815 he remarks « that a glacier which fills up valleys in its « course, and wich conveys the rocks on its surface free from attrition, is the only agent « we now see capable of transporting them to such a distance, without destroying that « sharpness of the angles so distinctive of these masses. » That mountains formerly existed of magnitude sufficient to give origine to such extensius glaciers, is countenanced by other phenomena observed in the Alps, and does not imply any alteration in the surface so great as the supposition of a continued declivity between the two extreme points, which is after all insufficient to remove the objection arising from the sharp angles of these rocks. »

[2] « C. Zuletzt wollten zwei oder drei stille Gæste sogar einen Zeitraum grimmiger Kælte zu Hülfe rufen und aus den hœchsten Gebirgszügen auf weit in's Land hingesenkten Gletschern, gleichsam *Rutschwege für schwere Ursteinmassen* bereitet, und diese auf glatter Bahn fern und ferner hinausgeschoben, im Geiste sehen. Sie sollten sich, bei eintretender Epoche des Aufthauens, niedersenken und für *ewig in fremden Boden liegen bleiben* » (*Wilhelm Meisters Wanderjahre, zweites Buch, Kap. 10.* Gœthe's Werke, 1829).

Je viens d'apprendre par le rapport infiniment intéressant adressé le 21 février 1840, par **M. Buckland**, à la Société géologique de Londres (p. 60), que feu le professeur **Esmark**, à Christiania, a admis que la majeure partie de la Norwége a été dans un temps recouverte de glace, et que les blocs de granit qui abondent dans ce pays, ont été amenés par des glaciers. J'ignore l'année où ce savant a conçu cette opinion ; mais d'après **M. Buckland**, elle se trouve consignée déjà dans la traduction des remarques de **M. Esmark** sur l'*Histoire géologique du globe*, insérée en 1827 dans l'*Edingburgh new philosophical journal*, vol. VI, p. 107.

a conçu cette pensée; elle ne se trouve pas dans la première édition de *Wilhelm Meisters Wanderjahre*, de l'année 1821, mais bien dans la dernière, soignée par **Goethe** lui-même en 1829.

C. 38. On donne le nom de *terrain erratique* à des fragments de roches que l'on rencontre à des distances quelconques des montagnes d'où ils ont été détachés. Définition du terrain erratique.

C. 39. *a*) *Blocs erratiques.* Fragments de gros volume. Dénomination.

b) *Gravier, sable, limon erratiques.* Menus débris.

c) *Terrain erratique.* Ensemble de ces fragments sans égard à leur volume ni à leur nombre.

C. 40. *a*) Les débris qui constituent le terrain erratique [1] ne *diminuent pas de volume à proportion de l'éloignement où on les trouve des montagnes d'où ils ont été détachés;* tandis que les débris des terrains transportés par les eaux augmentent de volume à mesure que l'on s'approche du lieu de leur origine. Différence entre le terrain erratique et les terrains diluviens et alluviens.

b) Beaucoup de fragments erratiques, bien que transportés fort loin, ont néanmoins conservé la *surface raboteuse*, ainsi que les *arêtes et les angles vifs et tranchants.* Les débris transportés par les eaux ont la surface lisse, et leur forme est généralement arrondie. Lorsqu'on en trouve d'anguleux, ce qui n'arrive pas souvent, les parties saillantes en sont toujours émoussées.

c) Les dépôts erratiques *sont rarement stratifiés*, tandis que les terrains transportés par les eaux le sont presque toujours. D'ailleurs les dépôts erratiques, lors même qu'ils sont stratifiés, se distinguent toujours des autres dépôts de transport par le nombre de fragments anguleux et bien conservés qu'ils renferment.

C. 42. Les débris qui constituent le terrain erratique de la plus grande partie de la Suisse occidentale, proviennent de roches qui se trouvent toutes en place dans la grande vallée du Rhône et dans les vallées latérales. Ainsi l'on reconnaît parmi ces débris les *gneiss* et les *schistes talqueux* et *amphiboliques* qui bordent le glacier du Rhône; les *granits talqueux verdâtres* de la vallée de Binnen; les *schistes micacés avec grenat* des environs du Simplon; les *euphotides* ou *gabbros* de la vallée de Saas; les *serpentines* et les *gneiss à gros cristaux de feldspath* des vallées de Saint-Nicolas et d'Hérens; Nature des roches qui composent le terrain erratique.

[1] D. A. Terrain erratique non remanié par les eaux.

les *schistes chloriteux* de la vallée de Bagne et de celle du Saint-Bernard ; les *granits à gros cristaux de feldspath* de la vallée de Ferret ; les *grauwackes* et les *psammites rouges* de la montagne de Foully ; les *poudingues de Vallorsine ;* les *gneiss de Catogne* et de la montagne des Follaterres ; les *calcaires* des environs de Saint-Maurice et de Bex etc.

Le Jorat[1] même a fourni son tribut au terrain erratique, car on trouve des blocs de gompholite (*Nagelfluh*), près d'Attalens, d'Écoteaux, d'Oron, de Rue et même dans les environs de Moudon et de Payerne.

Le terrain erratique de chaque grande vallée de la Suisse présente toujours la collection complète de toutes les roches qui constituent les montagnes de cette vallée et de celles qui y aboutissent. Il en est de même des moraines et des débris de roches éparpillés sur les lits des glaciers. Ils présentent les uns et les autres également la collection de toutes les roches des montagnes qui bordent le glacier.

Forme des fragments erratiques.

C. 43. La forme des fragments erratiques, dépendant principalement de la structure de la roche, n'offre rien de constant. Ainsi les roches schisteuses, comme les micaschistes, les stéaschistes, les gneiss, les calcaires micacés etc., se présentent ordinairement en *fragments prismatiques aplatis.* Les roches non stratifiées ou disposées par strates fort épais, comme les granits, les euphotides, les serpentines, les poudingues, les gompholites, les calcaires compactes etc., offrent des *formes cubiques* ou *polyédriques.*

L'état de conservation de la surface et des parties saillantes de ces fragments est plus important à connaître que leur forme. Les uns ont les *angles emportés, les arêtes écornées et émoussées et la surface plus ou moins frottée*[2] ; les autres, au contraire, ont *les angles et les arêtes parfaitement conservés,* à peine y remarque-t-on quelque écornure ; leur surface, également intacte, offre encore les aspérités de la *cassure fraîche.*

[1] C. Le Jorat est un petit système de montagnes ou plus exactement un plateau élevé appartenant à la formation de la molasse. Il est situé au pied des Alpes, sur le bord septentrional du lac Léman. Son sommet le plus élevé, qu'on nomme le *Pèlerin*, est formé de gompholite, et sa hauteur au-dessus de la mer, est de 1072 mètres, d'après les mesures barométriques de mon excellent ami **M. Maup.** Le Pèlerin est par conséquent à 698 mètres au-dessus du lac.

[2] D. A. Surface frottée, polie, rayée, striée, burinée etc.

Les fragments arrondis et usés par frottement sont généralement plus nombreux que les autres; cependant il n'est pas rare de rencontrer des dépôts dans lesquels les *fragments anguleux* prédominent de beaucoup. Ainsi par exemple, la bande du terrain erratique qui se trouve au-dessus et près du bourg de Monthey (en Valais), présente sur une longueur de 4 kilomètres, et sur une largeur de 200 à 300 mètres, une accumulation de blocs de granit dont la plupart ont les surfaces, les arêtes et les angles bien conservés. Il en est de même du groupe de blocs granitiques de la montagne de Plan-y-Beuf, près d'Orsières; de la bande de blocs calcaires qui, dès le vignoble, dit le *Chêne*, au-dessus de Bex, s'étend sur une lieue de longueur jusque près du village d'Ollon etc.

Les blocs arrondis et frottés sont plus communs que les autres.

Nous pourrions encore indiquer d'autres localités où l'on observe ces exceptions; mais en thèse générale, nous le répétons, les blocs arrondis et frottés sont plus communs que les autres. J'ai suivi le terrain erratique du Jura, dès Soleure à Neuchâtel et dès le val de Travers jusqu'au pays de Gex. J'ai apporté la plus grande attention à l'examen des phénomènes qu'il présente et j'ai partout trouvé plus de débris arrondis, usés et frottés que de ceux qui ne le sont pas. Si l'on ne considère que les blocs de gros volume, il n'y a pas de doute qu'ils ne soient généralement plus anguleux et mieux conservés que les petits; mais cet accident n'est point propre à la seule contrée dont je viens de parler, il se trouve sur toute l'étendue du terrain erratique. On trouve non-seulement sur le Jura, mais aussi dans les Alpes et dans la plaine de la Basse-Suisse, les gros blocs généralement mieux conservés que les petits. On pourrait presque dire que leur degré de conservation est en raison directe de leur volume (voy. § 80).

La forme des fragments dépend principalement de la structure de la roche et de l'arrangement de ses fissures; il ne peut y avoir sous ce rapport aucune différence entre les débris erratiques et les débris que déposent les glaciers.

L'état de conservation est également le même dans les uns que dans les autres. Nous trouvons dans les moraines comme dans les dépôts erratiques, des fragments arrondis et lissés comme les galets des torrents; d'autres légèrement frottés et écornés; d'autres enfin, ayant la surface raboteuse et les arêtes et les angles vifs et

tranchants. Ces derniers sont ceux qui, ayant été éparpillés sur le dos du glacier, ont été transportés par son mouvement progressif, quelquefois fort au loin, sans éprouver de frottement.

Cela nous explique la bonne conservation de beaucoup de fragments erratiques, quoiqu'on les rencontre à des distances fort considérables des montagnes d'où ils ont été détachés. *Ces fragments sont tombés sur le dos du glacier et y sont restés tout le temps de leur voyage.* Lorsqu'ils y ont été espacés, c'est-à-dire peu ou point en contact avec d'autres débris, ils ont pu faire des soixantaines de lieues sans éprouver aucune dégradation. On conçoit facilement que, plus un bloc sur un glacier se trouve loin des bords, c'est-à-dire rapproché du milieu, plus il aura de chances de rester longtemps sur la glace et de faire un grand trajet avant d'atteindre l'un des bords. Ce fait peu important par lui-même, est cependant important à constater, parce qu'il explique *pourquoi les plus gros blocs sont généralement mieux conservés.* En effet, lorsqu'un éboulement de rochers tombe sur une pente abrupte, les débris, au lieu de glisser ou de rouler, la descendent en bondissant. Arrivés au bas du talus, les plus gros blocs qui font les bonds les plus considérables, s'en éloignent aussi davantage. Si la pente aboutit à un glacier, il est bien clair que les gros blocs sauteront plus loin que ceux de petit volume. Se trouvant ainsi plus en avant sur la glace, ils feront sans éprouver de frottement, un bien plus long trajet avant d'atteindre les bords, que ne pourront faire les petits fragments qui se seront arrêtés plus près de la montagne. Les faits que nous venons de citer, sont du nombre de ceux dont les autres hypothèses ne peuvent rendre compte, sans de graves invraisemblances.

Volume des fragments erratiques.

C. 44. On conçoit aisément que les roches dures et peu fissurées, comme les granits, les gneiss, les poudingues etc., doivent fournir généralement les blocs les plus volumineux, et que les roches tendres et fendillées, comme par exemple les schistes argileux, marneux et talqueux, les calcaires, les serpentines etc., doivent se trouver pour l'ordinaire en fragments plus petits. Les roches qui ont fourni les blocs les plus gros sont : le granit talqueux de la vallée de Binnen, le granit de la vallée de Ferret, le gneiss de la montagne de Foully et de celle de Catogne. Les gros

blocs calcaires que nous aurons occasion de citer, ne présentent que des cas exceptionnels.

Le volume des fragments erratiques varie depuis la poussière jusqu'à des volumes très-forts. Citons des blocs :

Bloc monstre. Bloc calcaire sur une montagne de gypse appelée *le Montet*. Provenant des montagnes qui bordent la *vallée d'Avançon*. 17m,5 long, 14 mètres large, 20 mètres haut, 4900 mètres cubes. Bloc monstre 4900 mètres cubes.

Pierre-du-Trésor. Bloc granitique, sur la montagne calcaire de *Plan-y-Beuf*, a plus de 3400 mètres cubes. Pierre-du-Trésor 3400 mètres cubes.

Bloc de granit à *Steinhof*, près Seeberg (canton de Berne), venant de la *vallée de Binnen*. A parcouru 60 lieues (330 kilomètres) et a les angles et arêtes parfaitement conservés. 2080 mètres cubes. Bloc de Steinhof 2080 mètres cubes.

Pierre-des-Marmettes. Bloc de granit; est surmonté d'un petit pavillon. Au-dessus de *Monthey* (Valais), venant de la *vallée de Ferret*. A parcouru 11 lieues (60 kilomètres). 20m,5 de long, 9m,7 de haut, 10m,2 de large, 2027 mètres cubes. Pierre-des-Marmettes 2027 mètres cubes.

Quelques autres blocs dans la même localité et de même provenance ont de 600 à 1800 mètres cubes, et un grand nombre sont de 200 à 400 mètres cubes. Blocs de 200 à 1800 mètres cubes.

Pierre-Bessa. Bloc calcaire. Sur une montagne de gypse appelée *le Montet*, situé à 100 mètres de distance du Bloc monstre; il vient de la *vallée d'Avançon*. 1428 mètres cubes. Pierre-Bessa 1428 mètres cubes.

Pierre-à-Bot. Granit à petits grains *au-dessus de Neuchâtel*. Vient des environs de *Martigny* (Valais). 16m,2 long, 6m,5 large, 13 mètres haut, 1370 mètres cubes. A parcouru 22 lieues (120 kilomètres). Pierre-à-Bot 1370 mètres cubes.

Pierre-de-Milliet. Granit. A une demi-lieue au-dessus du village de *Mont-la-Ville*, au pied du Jura. Vient de la *vallée de Ferret*. A parcouru 23 lieues (126 kilomètres). 425 mètres cubes. Pierre-de-Milliet 425 mètres cubes.

Pierre-Vieille. Calcaire. Près du *lac de Bret* (canton de Vaud), vient du Bas-Valais. On l'exploite pour en faire de la chaux. 400 mètres cubes. Pierre-Vieille 400 mètres cubes.

Pierre-de-Condy. Granit talqueux. A côté du village de *Provence*, sur le flanc du Jura, au-dessus de Vauxmarcus. Vient de la *vallée de Binnen*. 130 mètres cubes. Pierre-de-Condy 130 mètres cubes.

Blaustein 8360 mètres cubes.

Blaustein. Bloc de serpentine, dans la *vallée de Saas*. Transporté il y a à peu près cent ans par le glacier actuel de *Matmark* ou du *Schwarzberg*. 8360 mètres cubes [1].

Il serait aussi ennuyeux qu'inutile d'étendre davantage la liste des gros blocs erratiques. Ce que nous en avons dit est suffisant pour faire voir qu'il existe d'énormes blocs dans presque toutes les contrées occupées par le terrain erratique.

Le nombre des gros blocs diminue journellement dans toutes les localités où l'industrie et l'agriculture font des progrès. Les défrichements en font disparaître beaucoup toutes les années. Dans les contrées où le sol consiste en molasse et où par conséquent on ne trouve pas de pierres dures, les débris erratiques sont extrêmement recherchés pour les moellons, pour pierres de taille, pour meules de moulin, pour matériaux de routes etc. En outre, les blocs calcaires sont de plus en plus détruits par les faiseurs de chaux [2]. Il n'est point de bloc assez volumineux pour résister à la force expansive de la glace, tout comme il n'en est point de trop lourd pour qu'un glacier ne puisse le porter à des distances considérables. Le **Blaustein**, dans la vallée de Saas, est un bloc de serpentine de 3800 mètres cubes.

Absence de triage selon le volume.

C. 45. *Le terrain erratique présente le fait remarquable que les fragments de roches dont il est composé n'ont éprouvé aucun triage d'après leur volume, c'est-à-dire qu'ils ne diminuent pas de volume en raison de l'éloignement où ils se trouvent du lieu de leur origine.*

Ainsi, par exemple, les *blocs de Steinhof*, près de Seeberg, sont du nombre de ceux qui ont fait le plus de chemin; la bonne description que **M. Studer** a donnée de la nature de la roche m'avait fait soupçonner qu'elle pourrait bien être du *granit talqueux* de la *vallée de Binnen*. Pour m'en assurer, j'ai visité ces blocs surprenants, et j'ai en effet reconnu que cette roche est absolument celle dont sont formées les hautes montagnes qui séparent cette vallée de

[1] C. En 1821 il y avait encore à *Saas* des vieillards, entre autres le grand-père de **Jean-Baptiste Rupper**, qui se souvenaient très-bien d'avoir ouï dire à leurs pères qu'ils avaient vu cet énorme bloc sur le dos du glacier.

[2] C. Depuis vingt-sept ans que j'habite la vallée du Rhône la diminution des blocs erratiques par les causes que je viens d'indiquer y est déjà bien sensible.

celle d'*Antigorio*. Ce granit constitue les sommités du *Pachterhorn*, du *Gieschenhorn*, du *Trifthorn* et du *Rœmihorn*. Le chemin que ces grandes masses ont dû faire pour arriver à Steinhof est d'environ 60 lieues suisses (de 5500 mètres la lieue). Le volume du plus gros est de 2080 mètres cubes, comme nous l'avons dit (C. 44), et néanmoins *ils ont tous* les arêtes et les angles parfaitement conservés.

La *Pierre-à-Bot*, au-dessus de Neuchâtel, est un bloc de granit à petits grains passant à l'état de gneis. La localité la plus rapprochée où cette roche se trouve en place, est l'*arête des Follaterres*, à peu de distance au nord de Martigny. Dans la supposition que ce bloc vienne de là, il a dû parcourir 22 lieues, et son volume n'est pas moins de 1370 mètres cubes.

La *Pierre-de-Milliet*, au-dessus de *Mont-la-Ville*, étant du granit à gros cristaux de feldspath de la *vallée de Ferret*, a dû faire au moins 23 lieues pour arriver à l'endroit où elle se trouve. Son volume est de 425 mètres cubes.

Ces énormes blocs se trouvent tous sur la limite du terrain erratique, fait important à constater pour la théorie de leur mode de transport.

L'un des caractères des débris erratiques est l'absence complète de tout triage selon le volume. Ce caractère se trouve également dans les moraines et dans les débris éparpillés sur les lits des glaciers actuels, parce que le mode de mouvement de ceux-ci ne peut occasionner aucun triage. *En effet, quelle que soit la distance, les glaciers ne mettent pas plus de temps à y transporter d'énormes blocs que des graines de sable.*

Disposition du terrain erratique.

C. 46. Les dépôts de débris erratiques se présentent sous différentes formes. Quoique ces formes ne soient pas toujours bien tranchées et qu'il y ait fréquemment des transitions de l'un à l'autre, on peut néanmoins les diviser en trois classes, savoir :

1° *Les dépôts éparpillés.*

2° *Les dépôts accumulés.*

3° *Les dépôts stratifiés.*

Les trois formes sous lesquelles on rencontre les débris erratiques nous sont également offertes jusque dans les moindres détails par les débris déposés par les glaciers.

Dépôts éparpillés.

C. 47. Les dépôts éparpillés sont ceux que l'on rencontre le plus fréquemment. Cette forme de dépôt présente les fragments de roche éparpillés sur la surface du sol et plus ou moins espacés. Il n'est pas rare de trouver des blocs tout à fait isolés.

Ces fragments sont ordinairement couverts de terre et de végétation; souvent même on ne parvient à les reconnaître qu'accidentellement par les fouilles que l'on fait dans divers buts. Cependant lorsque de gros blocs se trouvent parmi ces débris, ils se voient fréquemment à nu plus ou moins dégagés de terre. Cet accident se remarque surtout dans les localités où les cultures n'ont pas encore trop changé la surface du sol. Comme, vu leur dureté et leur volume, ils auraient trop coûté à détruire, on les a souvent respectés par cette raison. Les contrées de la Basse-Suisse où l'on rencontre encore le plus fréquemment des dépôts éparpillés sont, par exemple, la portion du canton de Fribourg, située entre la Glane et la Sionge, le plateau du Jorat, les environs de Lassarraz, d'Orbe, de la Bretonnière, le plateau de Prémier, les environs de Nyon etc. Dans la grande vallée du Rhône on en trouve dans les environs de Bex, de Martigny, de Sion, de Sierre, de Brigue etc. Mais nous le répétons, ces blocs, surtout ceux de dimension moyenne, deviennent de jour en jour plus rares par les causes que nous avons déjà indiquées (C. 44).

Nous devons encore ajouter que ces débris éparpillés sont fréquemment recouverts de diluvium. Dans ce cas, on ne peut les reconnaître qu'à la conservation des angles et des arêtes [1], et surtout à leur volume hors de proportion avec celui des matériaux dans lesquels ils sont ensevelis. Les ravins qui sillonnent le plateau entre le lac Léman et le Jura (du côté de l'Isle, de Bière, d'Aubonne et de Begnins), permettent de voir cet accident dans les couches supérieures du diluvium.

Les dépôts éparpillés correspondent aux débris que les glaciers laissent épars sur la portion de leur lit qu'ils ont abandonnée par suite de leur fonte. Ainsi, par exemple, lorsqu'on visite la portion de son lit que le glacier de l'Arpellaz ou de Salène a abandonnée

[1] D. A. Fort souvent ces blocs sont frottés, rayés, striés ou polis, et, dans ces cas, leur origine n'est pas douteuse.

près du hameau de Pratdefort, dans la vallée de Ferret, on croirait voir le sol de certains terrains incultes du canton de Fribourg, du plateau du Jorat, des environs de Cossonay, de la Bretonnière, de Prémier, et qui, à la végétation près, offrent exactement le même aspect.

C. 48. La seconde forme qu'on trouve dans la disposition du terrain erratique est celle où les fragments, au lieu d'être éparpillés, sont réunis et accumulés en nombre plus ou moins considérable. Dépôts accumulés.

Ces accumulations offrent exactement la même configuration et les mêmes accidents que les moraines; c'est-à-dire qu'elles se présentent sous une forme allongée, semblable à celle d'une digue ou qu'elles constituent des monticules coniques et isolés.

Si le sol est un peu incliné, leur profil est celui des moraines que nous avons représentées. La forme des *moraines multiples* se rencontre souvent parmi ces accumulations. Cet accident se présente fréquemment dans les environs de Bex, de Sion, de Savièse, d'Orsières etc. Moraines multiples.

Lorsque les dépôts accumulés se trouvent sur un terrain en pente, ils forment alors des *bandes* ou des *écharpes* longeant le flanc de la montagne qui les supporte. Moraines en bandes ou écharpes.

Enfin on trouve aussi ces débris entassés de manière à former des *monticules isolés*, plus ou moins coniques. On ne saurait toujours reconnaître si ces cônes sont les restes d'un dépôt jadis plus considérable, mais disloqué et dégradé plus tard par les torrents, ou bien, s'ils ont eu cette forme dès le commencement. Dans ce dernier cas, on pourrait les comparer aux dépôts formés par les moraines superficielles (C. 20) qui, lorsqu'elles atteignent le pied du glacier sans s'être préalablement élargies, déposent les matériaux sur un seul point. Moraines sous forme de monticules isolés.

L'intérieur des dépôts accumulés offre jusque dans ses moindres détails la même structure que les moraines. C'est toujours un mélange confus de fragments de toutes dimensions, entassés les uns sur les autres sans ordre quelconque. Des blocs très-gros sont confondus pêle-mêle avec de menus débris, du gravier, du sable et même du limon. On n'y remarque aucune apparence de triage; le gros et le

menu se rencontrent aussi bien dans la partie supérieure du dépôt que dans l'inférieure. Des fragments anguleux et bien conservés sont indistinctement mêlés avec des fragments arrondis et frottés. On n'y découvre des indices de stratification que lorsque ces dépôts passent à la forme que nous décrirons dans les paragraphes suivants.

La surface de ces amas est ordinairement couverte de terre et de gazon ; çà et là de gros blocs y font saillie[1].

Les dépôts accumulés sont très-communs dans la grande vallée du Rhône et dans les vallées latérales. On les rencontre surtout sur les flancs des montagnes, où, selon le degré de pente, ils se présentent sous forme de *digues* ou sous celle de *bandes*. On en trouve encore sur le plateau du Jorat et même dans les environs de Lausanne, où **M. Venetz** a remarqué un vaste dépôt en forme de digues qui s'étend de cette ville jusqu'au delà de Morges.

Les dépôts accumulés sont très-fréquents et d'un volume considérable sur le flanc des montagnes qui bordent le lac Léman au sud. On peut les suivre dans les hauteurs qui dominent Saint-Gingolph, en passant par Plan-Tholon et Saint-Paul, au-dessus d'Évian, jusqu'à la rencontre de la vallée de la Drance du Chablais.

Les dépôts accumulés de débris erratiques se présentent sous deux formes principales : sous celle de *digues* ou *bandes*, et sous celle de *monticules* plus ou moins coniques. Ces formes se retrouvent également dans les moraines. En effet, lorsqu'un glacier rencontre un terrain plat ou peu incliné, il dépose ses débris en forme de digues. Si le terrain est fortement incliné, il forme des bandes. Enfin, lorsqu'une moraine superficielle vient à atteindre le bord du glacier avant d'avoir pu s'élargir, ses débris s'accumulent en forme de monticule. Le terrain erratique présente également ces sortes de dépôts à plusieurs arêtes que nous avons désignés par le nom de *moraines multiples*. La bande des blocs granitiques de Plan-y-Beuf, les accumulations des Devens, les environs de Savièse, d'Evian etc. présentent fréquemment cet accident.

[1] C. Dans les contrées où le climat permet de cultiver la vigne, les dépôts erratiques sont très-recherchés pour ce genre de culture qui y réussit parfaitement. Beaucoup de vignes de Sierre, de Sion, de Rex, d'Ollon, d'Yvorne et de Lavaux sont plantées sur ces sortes de dépôts. Vu la légèreté du sol, le raisin rouge y vient très-bien.

L'hypothèse des glaciers explique également bien la situation des *digues* ou *bandes* à divers étages sur les flancs des montagnes, à des hauteurs correspondantes des deux côtés de la vallée. Les bandes les plus élevées ont été déposées à l'époque où les glaciers diluviens avaient atteint leur maximum d'extension et de développement; les autres ne l'ont été qu'à mesure que les glaciers allaient en diminuant. Mais cette diminution ne s'est pas opérée d'une manière continue et uniforme; la fonte de la glace n'a pas eu lieu sans interruption; car s'il en avait été ainsi, les débris n'auraient pas pu former des digues ou des bandes, mais seulement des dépôts éparpillés (*Gletscherboden*). La fonte des glaciers s'est opérée par oscillations; c'est-à-dire, qu'après avoir diminué pendant quelque temps, ils sont restés stationnaires momentanément, ou ont même derechef un peu avancé avant de se remettre à fondre. En effet, ce n'est que par ces sortes d'oscillations que les glaciers, lorsqu'ils vont en diminuant, peuvent former des moraines.

Dépôts stratifiés.

C. 49. La troisième forme sous laquelle le terrain erratique se présente, est celle où les matériaux sont disposés par *strates* ou *couches*. Ces couches sont ordinairement courtes et épaisses, et conservent rarement une épaisseur égale sur une étendue tant soit peu considérable. Elles se terminent promptement en coin. Le grand nombre de fragments anguleux et bien conservés que l'on trouve dans ces sortes de dépôts est ce qui les distingue essentiellement des dépôts diluviens et aluviens, lesquels n'en renferment que peu ou point. Enfin, les dépôts stratifiés présentent tous les caractères du diluvium glaciaire que nous avons décrit plus haut (C. 24).

Les strates sont tantôt horizontaux, tantôt inclinés parallèlement à la pente du sol sur lequel ils se trouvent. Cependant un dépôt de ce genre situé dans les environs des bains de Lavey, et connu dans la contrée sous le nom de *Sex de terre*, fait exception à la règle, car ses couches s'inclinent sous un angle de 40 degrés contre le flanc de la montagne qui les supporte.

Les dépôts stratifiés se rencontrent à l'entrée de la plupart des petites vallées qui aboutissent à la vallée du Rhône ou aux grandes vallées latérales. Souvent il suffit, pour occasionner cet accident, d'une légère dépression sur le flanc d'une montagne, dépression qui mérite à peine le nom de vallon.

Ainsi nous trouvons ces sortes de dépôts à l'entrée de la vallée de la Grionne, de celles de Panex, de l'Alliaz, de la [illegible] et de tous les vallons qui descendent du plateau du Jorat [illegible] Léman. Il arrive même que ces débris pénètrent assez avant [illegible] vallée, où ils recouvrent les flancs des montagnes dès le [illegible] qu'à une grande hauteur.

On n'en rencontre point à l'entrée des grandes vallées [illegible] telles que, par exemple, celles du Trient, d'Entremont, d'[illegible] de Viege, de [illegible] etc., mais on en trouve fréquemme[illegible] l'intérieur de ces vallées, surtout dans les localités où el[illegible] rejointes par d'autres vallées.

Lorsque ces dépôts sont considérables, on les désigne [illegible] Suisse française par le nom de *Rouvines* (mot patois qui [illegible] ravin), à cause de la [illegible] avec laquelle les eaux y creu[illegible] ravins.

C'est [illegible] qu'il faut attribuer c[illegible] de *pyram*[illegible] couronnés chac[illegible] gros bloc, [illegible] sur le flanc des g[illegible] pôts glaciaires [illegible] leur mode de forma[illegible] bloc préserv[illegible] qui se trouvent au-des[illegible] lui, tandis [illegible] pas à cet abri s[illegible] peu disloq[illegible] Mais se[illegible] agents [illegible] aussi à ronger [illegible] ces colonnes [illegible] que, ne pouvant [illegible] porter le [illegible] elles finissent par [illegible] ler. Il es[illegible] entièrement [illegible] lées, elles [illegible] massif de [illegible] à dire q[illegible] dans que [illegible] lem à l[illegible] manière [illegible] les comp[illegible] murs à [illegible]

Elles [illegible] 20 à 30 [illegible] 4 à 5 [illegible] Villars et [illegible] la va[illegible]

[illegible]

sont parfaitement dégagées. Mais ce sont les environs d'Useigne, en face du village de Saint-Martin, dans la vallée d'Hérens, qui présentent le mieux cet accident, lequel, du reste, ne peut se rencontrer que lorsque les dépôts glaciaires sont composés principalement des mêmes débris légèrement aglutinés par un ciment provenant de la dissolution de matières calcaires, et lorsque les gros blocs ne s'y trouvent que disséminés en petit nombre. Les *colonnes d'Useigne*, comme on les appelle dans le pays, se trouvent précisément à l'endroit où le glacier de Lénaret se joignait jadis à celui de Ferpècle [1].

Lorsque ces dépôts renferment beaucoup de fragments de roches calcaires, la chaux carbonatée, qui se dissout par l'infiltration des eaux, donne lieu à un ciment assez abondant pour cimenter les débris et pour changer toute la masse en une espèce de brêche caverneuse assez solide pour résister remarquablement bien à l'action destructive des agents atmosphériques. Les dépôts glaciaires de Stalden, de Sierre, de Chamoson, d'Orsière, de Lavey etc. présentent fréquemment ces sortes de brêches.

Les dépôts erratiques stratifiés correspondent exactement aux dépôts d'*alluvium glaciaire* que nous avons décrits (C. 24). En effet, ces dépôts ne sont autre chose qu'un *diluvium glaciaire*, c'est-à-dire que les matériaux amenés par les glaciers diluviens ont été déposés dans des amas d'eau, où ils se sont mêlés avec des matériaux apportés par les torrents. L'hypothèse rend très-bien raison de la disposition de ces dépôts qui se trouvent à l'entrée des petites vallées latérales, et y pénètrent quelquefois assez avant. Ces vallées, comme par exemple celles de la *Grionne*, de *Panex*, de l'*Alliaz*, de la *Veveyse* etc., prennent toutes naissance dans des montagnes qui, vu leur peu d'élévation, n'ont pu former des glaciers assez considérables pour atteindre la grande vallée du Rhône. Elles étaient donc vides, c'est-à-dire plus ou moins dégagées de glace, lorsque le glacier de la grande vallée est arrivé devant leurs entrées. Ne rencontrant aucun obstacle, il a dû y pénétrer par l'effet de son expansion latérale. En y barrant les torrents, il y a occa-

[1] C. Le dessin que M. Frœbel a donné des colonnes d'Useigne présente très-bien cet accident.

sionné des amas d'eau, dans lesquels les débris de roches qu'il avait amenés, se sont déposés en se mêlant avec ceux qu'avaient charriés les torrents. A la fonte du glacier, ces lacs se sont écoulés, emportant avec eux la plus grande partie de ces débris, dont le restant fournit encore aujourd'hui la plupart des matériaux que les torrents de ces vallées charrient dans leurs crues.

D'autres vallées latérales, mais plus grandes que celles dont nous venons de parler, et prenant naissance dans les montagnes plus élevées, ont eu chacune leur glacier[1]. Mais l'accroissement de ces glaces n'a pas été assez prompt pour qu'elles atteignissent la grande vallée avant qu'elle fût occupée par le glacier qui venait du fond du Valais. Celui-ci passant devant les entrées de ces vallées, y a également pénétré jusqu'à la rencontre de leurs propres glaciers, auxquels il opposait ainsi une barrière insurmontable. L'expansion de la glace ne pouvant plus les allonger, soit les faire mouvoir en avant, les a fait augmenter en épaisseur. En effet, les glaciers de ces vallées ont acquis ainsi la même épaisseur que le grand glacier qui les barrait, comme on peut le voir par leurs moraines les plus élevées, qui se trouvent à la même hauteur que celle du grand glacier. Ce n'est qu'après la retraite de ce dernier qu'ils ont pu atteindre la plaine de la vallée du Rhône, où ils ont déposé des moraines considérables, lesquelles reposent même fréquemment sur des débris amenés par le grand glacier[2]. Ces vallées ayant été occupées par des glaces dans toute leur longueur, il n'a point pu s'y former de lacs, ni par conséquent de dépôts stratifiés.

Il en a été de même de toutes les vallées latérales en amont de Saint-Maurice. L'élévation plus grande de ces vallées, et surtout la hauteur et l'étendue considérable des montagnes qui les encaissent, ont fourni des conditions si favorables à l'accroissement de leurs glaciers, que ceux-ci ont pu atteindre la plaine de la grande vallée avant l'arrivée du glacier qui venait du fond du Valais. Cela nous

[1] C. Ces vallées sont le val d'Illiez, près de Monthey, sur la rive gauche du Rhône, et celles de l'Avançon, de la Grande-Eau et de la Tinière sur la rive droite.

[2] C. Ce fait s'observe très-bien dans les moraines déposées par le glacier de l'Avançon, entre les salines de Bexvieux et de Devens, et par celui de la Tinière, entre Valaire et Plan-Coudray, près de Villeneuve. Ces moraines reposent toutes sur des débris de roches venant des montagnes du Valais.

explique pourquoi on ne trouve pas dans ces vallées de fragments de roches étrangères aux montagnes qui les bordent, comme c'est le cas dans celles où le grand glacier a pu pénétrer.

Groupes de blocs formés de la même espèce de roche.

C. 50. L'un des faits les plus surprenants du terrain erratique est sans contredit l'accumulation ou la réunion d'un nombre considérable de blocs, tous de la même espèce de roche. Ces blocs sont tantôt *éparpillés* sur le terrain, mais *peu espacés* (C. 47); tantôt groupés en forme de *digues*, de *bandes* ou de *monticules* (C. 48).

Bande de blocs, près Monthey, venant des montagnes de la vallée de Ferret (Massif du Mont-Blanc).

Le dépôt de ce genre le plus remarquable que je connaisse, se trouve à 130 mètres au-dessus du Rhône, sur le flanc d'une montagne calcaire (lias), près de *Monthey* dans le Bas-Valais. C'est une *bande de gros blocs* qui a de 100 à 250 mètres de largeur, 4 kilomètres de longueur. Elle commence au-dessus de ce bourg, et s'étend horizontalement sur la pente de la montagne jusqu'aux précipices du *Sex*, *de Balme*, *de Collombey*. Elle est entièrement formée de blocs de granit à gros cristaux de feldspath (c'est une roche très-caractéristique), venant tous de la haute chaîne de montagnes qui borde la vallée de Ferret du côté nord-nord-ouest, et qui n'est autre chose que la continuation orientale de la chaîne du Mont-Blanc. Par conséquent ces débris se trouvent à 60 kilomètres au moins des montagnes d'où ils ont été détachés.

Pierre-des-Marmettes.

Ces fragments étonnent autant par leur nombre que par leur volume. — *La Pierre-des-Marmettes* (C. 44) en fait partie, elle a 2027 mètres cubes; d'autres blocs dans la même localité et de même provenance ont de 600 à 800 mètres cubes, et un très-grand nombre en sont de 200 à 400 mètres cubes.

Tous ces blocs ont la surface raboteuse, les angles et les arêtes légèrement écornés.

Ces blocs ne sont pas moins remarquables par leur belle conservation. Presque tous ont encore la surface *raboteuse*, les *arêtes* et les *angles* légèrement *écornés*. Quelques-uns sont fendus, mais la direction des fentes prouve jusqu'à l'évidence que ces ruptures sont le résultat d'une *chute*, et nullement d'un *choc horizontal*.

Pierre-à-Mourguets.

Un énorme bloc de 20 mètres de longueur est connu dans la contrée sous le nom de *Pierre-à-Mourguets;* en tombant il a donné du coin sur un autre gros fragment, de manière qu'il s'est fendu horizontalement dans toute sa partie supérieure. Une partie de l'angle

est entièrement détachée, et les éclats se trouvent encore accumulés sur le bloc qui a reçu le coup.

Pierre-à-Dzo. Un très-gros bloc, appelé la *Pierre-à-Dzo*, d'une forme irrégulière, polyédrique, est perché sur un autre; mais il n'y est retenu que par un troisième bloc fort petit et fendu verticalement par la chute du premier; sans cet appui il se précipiterait sur le bourg de Monthey. Il est absolument impossible qu'un choc horizontal ait produit de pareils accidents.

Blocs erratiques de Monthey (Valais). Je ne crois pas commettre une exagération en comptant la bande des *blocs erratiques de Monthey* parmi les objets les plus curieux, les plus remarquables et les plus instructifs. Nous invitons les géologues [1] qui visitent la Suisse occidentale à aller voir ce dépôt vraiment extraordinaire [2].

Les environs de la saline de Devens présentent dans une localité appelée les *Vignes-du-Chêne*, et le long du village d'*Antagne*, des dépôts erratiques en forme de *digues* ou de *bandes* composées uniquement d'un calcaire noir et compacte appartenant à la craie qui forme les hautes sommités du fond de la *vallée de l'Avançon*. Les blocs sont anguleux, peu usés, et les plus gros atteignent à peine 340 mètres cubes.

Un groupe peu étendu de blocs de la même nature et de la même localité, est situé en face de ceux *du Chêne* sur le flanc septentrional de la petite montagne de gypse appelée le Montet. Ce groupe,

Bloc-Monstre. Pierra-Bessa. d'une forme irrégulière, se distingue par le volume des blocs. Le *Bloc-Monstre* et la *Pierra-Bessa* (C. 44) en font partie. Ces dépôts

[1] D. A. Les géologues qui veulent voir, les ingénieurs des mines qui sont assez indépendants pour oser voir dans la disposition de ces blocs, un transport sur le dos des glaciers et non une locomotion inventée sans garantie des lois physiques et naturelles.

[2] C. **M. Jean-André de Luc** a visité les blocs de Monthey et les a le premier mentionnés dans son mémoire: *Plusieurs espèces de roches éparses dans le bassin de Genève*, p. 21. Malgré cette visite, il s'efforce *encore de défendre l'hypothèse des courants.*

D. A. Dans les *Actes de la Société helvétique des sciences naturelles réunie à Genève*, 11, 12, 13 août 1845, p. 260. **M. J. A. Deluc** dit : Il en résulte que la théorie glaciaire ne repose que sur des suppositions plus inadmissibles les unes que les autres, en sorte qu'elle ne pourra pas se maintenir. J'ai toujours considéré le terrain erratique qui recouvre le petit Salève comme étant descendu en entier par les vallées de l'Arve; mais divers faits sur la nature des roches et sur leur arrangement me feraient croire qu'une partie est descendue par la vallée du Rhône. Dans ce cas, les difficultés pour l'hypothèse du transport par les glaciers sont encore plus insurmontables.

de fragments calcaires reposent en partie sur des blocs de granit, de gneiss, de poudingues de Vallorsine, et d'autres roches originaires du Valais.

Pierre-du-Trésor.

L'énorme bloc *Pierre-du-Trésor*, 3400 mètres cubes, fait également partie d'un dépôt erratique composé d'une seule espèce de roche. Cet amas de blocs de toutes les dimensions commence presque au sommet de la montagne de *Plan-y-Beuf*, située au sud-sud-ouest d'Orsières, à l'angle de jonction de la vallée de *Ferret* avec celle de *la Drance du Saint-Bernard*. Il descend de là *en écharpe* dans la direction sud-est, et se termine à peu de distance au-dessus du village de *Liddes*. Mais l'accumulation la plus considérable de ces débris se rencontre près de la sommité de cette montagne; elle a 1 kilomètre de longueur, et une largeur de 100 mètres et plus. Elle présente l'aspect d'une montagne multiple. Les blocs dont elle se compose sont bien conservés; ils ont la surface *raboteuse*, les *arêtes* et les *angles* plus ou moins *tranchants*. Ils sont généralement très-gros.

Pierre-du-Trésor, 887m,5 au-dessus du sol de la vallée de Ferret.

Le plus gros, la *Pierre-du-Trésor*, a plus de 3400 mètres cubes. Il s'est brisé en quatre fragments, mais qui sont à peine déplacés. La roche qui forme tous ces débris, est le granit à gros cristaux de feldspath qui constitue la chaîne de montagnes située entre la vallée de *Ferret* et celle de *Chamounix*. La position de ces blocs à 887m,5 au-dessus du sol de la vallée de Ferret, laquelle sépare la montagne de Plan-y-Beuf de cette chaîne granitique, est tout à fait contraire à l'idée de feu **M. Murith**[1], qui attribuait ces blocs à un éboulement parti de la pointe d'Orny, une des sommités de cette même chaîne.

Blocs de Montagny, près Lutry.

Je citerai encore un dépôt erratique que m'a fait connaître **M. Blanchet.** Ces débris se trouvent dans une localité appelée le *Bois-de-la-Chaux* et située sur le plateau du *Jorat* à 3 kilomètres au-dessus de *Montagny*, près de *Lutry* (Vaud). Ce sont des blocs calcaires, provenant des montagnes du Bas-Valais, et gisant sur un sol de molasse. Plus ou moins espacés, ils occupent une étendue de terrain d'un demi-lieue carrée. Ils sont *anguleux* et généralement bien conservés. Leur volume n'est pas considérable; les plus gros ont 100 à 120 mètres cubes.

[1] C. De Saussure, *Voyage dans les Alpes*, § 1022.

Les dépôts de roches formés d'une seule espèce sont toujours mieux conservés que ceux qui forment des roches d'espèces diverses.

Nous pourrions citer encore d'autres dépôts erratiques formés d'une seule espèce de roche; nous ajouterons seulement la remarque, que les dépôts d'une seule espèce de roche sont toujours mieux conservés que ceux qui sont formés de roches d'espèces diverses et provenant par conséquent de diverses localités.

Lorsqu'un éboulement tombe sur un glacier, les débris restent réunis et ne peuvent se mêler qu'avec ceux qui s'y seraient trouvés déjà au moment de la chute, ou qui les auraient atteints plus tard. Si ces derniers accidents n'arrivent pas, les débris peuvent être transportés à de grandes distances, sans éprouver aucun mélange. Lorsqu'enfin ils parviennent au bord du glacier, ils sont déposés peu à peu sur le terrain voisin, où ils présentent une accumulation de débris d'une même espèce de roche.

Ainsi l'hypothèse des glaciers nous rend parfaitement raison des groupes de blocs erratiques bien conservés et appartenant tous à une même espèce de roche. Aucune autre hypothèse ne peut aborder l'explication de ce phénomène sans perdre toute probabilité. La grande étendue de quelques-unes de ces accumulations ne peut fournir une objection contre l'origine que nous leur attribuons. En effet, si l'éboulement des *Diablerets* en 1749 et celui du *Rossberg* en 1806 étaient tombés sur un glacier, ils auraient donné lieu à des groupes bien plus considérables qu'aucun de ceux du terrain erratique. Le premier aurait présenté un groupe entièrement *formé de blocs calcaires*, et le second, un groupe de fragments de *gompholite* (*Nagelfluh*).

Le groupe granitique de la montagne de Plan-y-Beuf, ainsi que celui de *Steinhof*, ont été déposés à l'époque où le glacier diluvien du Rhône était à son maximum de développement, car l'un et l'autre se trouvent sur la limite du terrain erratique. Celui de Monthey ne l'a été qu'à une époque où le glacier avait déjà considérablement diminué, car ce groupe n'est qu'à 130 mètres au-dessus du Rhône, tandis que la limite des débris erratiques est à 717 mètres dans cette partie de la vallée. Le groupe calcaire du Devens a été transporté par le glacier de la vallée de l'Avançon, et n'a été déposé qu'après la retraite du grand glacier du Valais; en effet, il repose sur des débris amenés par ce dernier.

La grande longueur du groupe de Monthey (3/4 de lieue,

et sa largeur comparativement fort petite (200 à 300 mètres) prouvent que ces blocs ont formé une moraine superficielle qui, à la fonte du glacier, a été déposée sur le flanc de la montagne où elle existe aujourd'hui.

Position singulière de plusieurs blocs erratiques.

C. 51. Nous allons faire connaître les positions singulières de plusieurs gros blocs erratiques, positions que l'on ne saurait expliquer par les hypothèses les plus généralement reçues sur le mode de leur transport, sans tomber dans les plus grandes invraisemblances. Ainsi par exemple, la *Pierre-à-Bot*, au-dessus de *Neuchâtel*, se maintient en équilibre sur la plus petite de ses faces. C'est un bloc, comme nous l'avons déjà dit (C. 44), qui, d'après **M. de Buch**, à $16^m,2$ de longueur, $6^m,5$ de largeur et de 13 mètres de hauteur (1369 mètres cubes). Il semble, en le voyant, qu'un léger effort suffirait pour le renverser sur une de ses faces qui, en effet, surplombe de $8^m,1$ à $9^m,7$. Aucune des hypothèses proposées jusqu'à ce jour pour expliquer le terrain erratique, ne saurait faire concevoir comment il a pu prendre cette position et s'y maintenir.

Pierre-à-Bot.

Pierre-Bessa.

La *Pierra-Bessa*, près de ma demeure, présente une pyramide de $19^m,8$ de hauteur, dont la base est un triangle isocèle. Les deux côtés longs ont environ $18^m,8$ chacun, et le côté court, $10^m,3$. Elle est fendue verticalement du sommet à la base. La fente est assez large pour qu'un homme puisse s'y introduire. Un fragment de moyenne grosseur, détaché de la partie supérieure est resté pris entre les parois de la crevasse. Cette rupture est évidemment le résultat d'une chute que le bloc a faite au moment où il a pris place. Cependant il n'est pas dominé par des rochers d'où il eût pu se détacher. Nous montrerons plus loin (C. 80) comment cet accident à dû arriver, et comment les deux moitiés, quoique n'étant pas appuyées par les côtés, ont pu rester debout.

J'ai déjà fait connaître plus haut (C. 50) la singulière position de la *Pierre-à-Dzo*, près de Monthey, je n'y reviendrai donc pas. Mais je mentionnerai un gros bloc calcaire de $3^m,2$ à $4^m,8$ de diamètre situé sur le flanc méridional du *monticule de Tourbillon*, tout près du magasin à poudre de la ville de *Sion*. Il a une forme irrégulièrement arrondie, quoique sa surface ne présente pas de marques évidentes de frottement. Son diamètre est de trois mètres. Il se trouve

Bloc près Sion.

presque sur le bord d'une pente excessivement rapide, et n'est appuyé que par trois points. L'un des appuis est un coin saillant de la roche en place, qui est un schiste talqueux fort quartzeux. Le second est également un bloc de schiste talqueux fendu du haut en bas et évidemment détaché de la roche en place. Enfin le troisième appui est un grès quartzeux, caractérisé par quelques grains de quartz rose, et que je ne connais en place qu'à cinq lieues en amont de Sion, sur la rive gauche du Rhône, en face de la ville de Louëche. Le bloc calcaire est pareillement fendu dans toute sa hauteur; l'écart entre les deux moitiés n'est que de quelques centimètres.

La situation de ce bloc sur le bord d'une sorte de précipice, la manière dont il est retenu en place et la direction verticale des ruptures soit du gros bloc lui-même, soit de l'un de ses appuis, toutes ces circonstances réunies prouvent jusqu'à l'évidence qu'il n'a pas été placé là par un courant, ni brisé par un choc horizontal; mais qu'il est tombé sur la place qu'il occupe, et que c'est en tombant qu'il s'est fendu, et qu'il a cassé l'un des blocs qui le soutiennent[1].

Bloc près d'Orsières. Pierre de la Li-blanche.

Je ne saurais passer sous silence un très-gros bloc de granit qui se trouve près d'Orsières dans une localité appelée la *Li-blanche* (125 mètres cubes). Ce bloc est situé presqu'au sommet d'une pente rapide de calcaire talqueux, à environ 487 mètres au-dessus du sol de la vallée. Il repose comme sur une console, sur une saillie du rocher qui est à peine aussi large que le bloc. Quelques petites pierres lui servent de cale du côté du précipice et empêchent ainsi qu'il ne tombe. On le voit très-bien du village d'Orsières, où tout le monde le connaît sous le nom de la *Pierre-de-la-Li-blanche*[2].

[1] C. Ce bloc, très-curieux par sa position, n'est qu'à un petit quart de lieue de la ville. Les personnes qui voudraient le voir, n'ont qu'à demander le chemin de la *Poudrière de Tourbillon*.

[2] C. J'ai reçu aujourd'hui (9 novembre) une lettre de **M. le chanoine Biselx**, actuellement *curé à Orsières*, qui est si avantageusement connu des physiciens et des géologues, et qui, en 1829, présida de la manière la plus distinguée la Société helvétique des sciences naturelles, réunie à l'hospice du grand Saint-Bernard. Cette lettre contient des détails très-intéressants sur ce bloc erratique. Je m'empresse de les communiquer à mes lecteurs. Voici comment s'exprime cet exact observateur :

« J'arrive aujourd'hui d'une visite que j'ai faite au bloc de granit de la *Li-blanche*. Sa « hauteur au-dessus du fond de la vallée, pris au niveau de ma cure, est de 529 mètres. « Le volume approximatif de ce bloc est de 125 mètres cubes. Ce qui distingue particu- « lièrement cette pierre, c'est son gisement; elle est située sur un rocher de 45 degrés de

Il existe encore d'autres blocs dans des positions semblables et avec des circonstances analogues, non-seulement dans différentes localités des Alpes, mais aussi sur le revers du Jura, comme par exemple entre *Bonvillars* et *Montbourget*, entre *Bullet* et *Sainte-Croix* etc.

Lorsque les glaciers ont des bords forts élevés et escarpés, les gros blocs qui en tombent se fendent et se brisent fréquemment. Mais quand les bords offrent un talus tel que les blocs, au lieu de tomber brusquement, ne fassent que glisser, il arrive quelquefois que ceux-ci se placent les uns sur les autres, et prennent ainsi les positions les plus bizarres, dans lesquelles ils n'auraient pu s'établir ni se maintenir en équilibre, si le glacier ne leur avait fourni un appui qui, quoique passager, leur a cependant permis de prendre leur assiette. Il suffit de visiter les moraines de quelques grands glaciers, pour rencontrer de ces blocs singulièrement perchés les uns sur les autres.

Ce fait si facile à vérifier nous explique la position étonnante de plusieurs gros blocs erratiques, comme par exemple, la *Pierre-à-Dzo*, au-dessus de Monthey, perchée sur un autre bloc, où elle n'est retenue que par un très-petit bloc qu'elle a fendu du haut en bas en tombant du glacier;

La *Pierre-à-Bot*, reposant sur la plus petite de ses faces et ayant l'une des grandes, celle sur laquelle elle a glissé, encore tournée du côté où nécessairement le glacier a dû se trouver;

« pente et n'a qu'un petit appui; on peut la considérer comme un prisme à trois faces. « Ce bloc repose sur un de ses angles. S'il n'avait été déposé là d'une manière très-lente, « il n'aurait jamais pu s'y arrêter. On est saisi d'une espèce de crainte qu'il ne tombe, « quand on passe dessous. Du côté d'en haut, c'est-à-dire au sud et à l'est, il n'est nul- « lement appuyé, car il surplombe d'un tiers de son volume au moins. Si l'été prochain « vous venez ici pour monter à Ornex, il faudra que je vous invite à visiter ce minéral « solitaire. La théorie de nos vallées occupées par d'énormes glaciers a pour moi quel- « que chose de si extraordinaire, que je sens une grande répugnance à y adhérer. Rien « pourtant ne me parlera aussi haut en faveur de cette opinion, que le gisement du bloc « que je viens de voir aujourd'hui. Aussi je m'empresse de vous communiquer mes idées. « Je pense que, dans l'intérêt de l'opinion des glaciers, on aurait dû étudier mieux « qu'on ne l'a fait l'assise des blocs erratiques comparée à celle des blocs qui entourent « les glaciers de notre époque. Ce serait un travail qui jetterait beaucoup de lumière sur « ce point. J'ai trouvé à 240 mètres plus bas une trentaine de blocs de granit. Quelques- « uns sortent à peine de terre, les autres sont assez proéminents. »

La *Pierre-à-Mourguets*, fendue horizontalement par suite du coup qu'elle a donné du coin sur un autre gros bloc en tombant;

La *Pierra-Bessa*, fendue perpendiculairement du sommet à la base;

Le *Bloc du magasin à poudre de Sion*, gisant près du bord d'un précipice, fendu verticalement, et n'étant appuyé que faiblement sur une petite saillie du roc en place, sur une très-petite pierre, et sur une autre plus grande, mais aussi fendue verticalement;

Le *Bloc de calcaire schisteux* de forme tubulaire qui est planté de champ dans le sol près de ma demeure, et fendu verticalement et parallèlement aux strates etc.

Tous ces blocs sont tombés du bord du glacier au moment où il allait en diminuant, car si cette chute avait eu lieu pendant qu'il avançait, ils n'auraient pas pu conserver ces positions extraordinaires.

Prétendre expliquer ces faits de détails, ces accidents par d'autres causes que celle des glaciers diluviens, c'est entièrement dépasser les bornes de la probabilité.

Distribution des fragments erratiques selon les espèces de roches.

C. 52. On a prétendu dès longtemps que les fragments des diverses espèces de roches qui constituent le terrain erratique, ne sont pas distribués d'une manière égale ou uniforme dans la plaine de la Basse-Suisse et sur le revers du Jura; ou, en d'autres termes, qu'il y a des roches dont les fragments sont plus fréquents dans une contrée que dans l'autre. Ainsi l'on dit que les granits et les gneiss se trouvent plus fréquemment sur le flanc méridional du Jura que dans la Basse-Suisse, où, en revanche, les calcaires, les poudingues de Vallorsine, et les schistes talqueux seraient plus communs. Cette assertion n'est vraie que relativement aux blocs de gros volume. En effet, on trouve beaucoup plus de gros blocs granitiques sur la pente du Jura que dans la plaine de la Suisse, et en voici la raison qui est toute simple. D'abord l'accumulation des débris erratiques est en général beaucoup plus considérable sur le Jura, qu'elle ne l'est dans aucune contrée de la Basse-Suisse. (Nous ferons connaître plus tard la cause probable de ce fait C. 80 *m.*). En second lieu, la bande erratique du Jura, occupant des forêts, des pâturages, et en général, des localités peu ou point propres aux cultures, n'a guère éprouvé de dégradation

surtout en présence du calcaire du Jura qui fournit une excellente pierre à bâtir. Dans la Basse-Suisse, au contraire, les débris erratiques sont tous éparpillés sur un terrain généralement susceptible de cultures de tout genre; ils y occupent des contrées populeuses, couvertes de villes, de villages, de campagnes, et dont le sol, notez le fait, étant de la molasse, ne fournit point de pierre dure. Il n'est donc pas étonnant que les blocs erratiques soient en général plus rares dans la Basse-Suisse que sur le flanc du Jura, où ces causes de destruction n'existent guère. Leur nombre, comme nous l'avons fait observer plus haut (C. 44), a donc singulièrement diminué dans la plaine, tant par les défrichements que par les divers usages auxquels on emploie ces matériaux. Les gros blocs de granit (principalement le granit de Ferret), se prêtant très-bien à la taille, ont été de tout temps les plus recherchés, surtout pour les meules, et par conséquent ils sont devenus rares aujourd'hui. Les blocs de poudingue de Vallorsine sont assurément plus nombreux aujourd'hui dans la Basse-Suisse que ceux de granit et de gneiss. Mais on se tromperait certainement, si l'on concluait de ce fait que le nombre des blocs de poudingue y a toujours dépassé celui des blocs granitiques; car dans les contrées où l'industrie n'a pas encore trop changé la surface du sol, on trouve encore aujourd'hui plus de blocs de granit et de gneiss, que de poudingue [1]. Ces derniers doivent leur conservation dans les localités où les autres ont été plus au moins détruits, à leur extrême dureté, qui, en rendant l'exploitatation fort coûteuse, les préserve de la destruction [2].

Les gros blocs erratiques sont plus rares dans la Basse-Suisse que sur les hauteurs. — Cause de cette différence.

Les gros blocs calcaires venant des Alpes sons très-rares sur le flanc du Jura [3]. Mais ils le sont également dans la partie septentrio-

[1] C. Lorsque le lac est très-bas, comme c'était le cas l'hiver dernier (de 1839 à 1840), on voit une quantité considérable de blocs de granit et de gneiss le long du bord de la rive vaudoise, tandis qu'on n'en trouve presque plus dans les terres cultivées avoisinantes.

[2] C. Dans nos environs, et même dans le vignoble de Lavaux, où cependant les terres ont une bien grande valeur, j'ai vu renoncer à des tentatives d'exploitation de gros blocs de poudingue de Vallorsine, à cause de l'extrême dureté de la roche. Cette circonstance renchérissait le travail à tel point, que le bénéfice qu'on espérait en retirer, n'aurait pas couvert les frais.

[3] C. J'ai trouvé des blocs calcaires venant du Valais, de 3 à 16 mètres cubes de volume, entre Montbourget et Bullet, au-dessus de Lignerolles, de Ballaigues, au plateau de Premier etc.

nale de la Basse-Suisse, c'est-à-dire, dans toutes les contrées éloignées des Alpes, où les débris erratiques sont cependant parvenus. Ce fait s'explique selon moi par la *grande fragilité du calcaire*, qui est, à quelques exceptions près, la roche des Alpes la plus fissurée et par conséquent la plus sujette à se briser facilement. Il n'est donc pas étonnant du tout que les gros blocs de cette roche soient rares à une grande distance des Alpes calcaires. Mais si les gros fragments y sont peu fréquents, les petits, en revanche, y sont d'autant plus communs. On en trouve beaucoup parmi les menus débris erratiques, non-seulement dans toute la Basse-Suisse, mais aussi sur le flanc du Jura. Le diluvium de la plaine entre les Alpes et le Jura en renferme une quantité considérable. Il y a même beaucoup de localités où le nombre des galets calcaires venant des Alpes est bien plus grand que celui des galets de granit, de gneiss, de serpentine etc.

Ce que nous venons de dire des blocs calcaires s'applique aussi, mais à un degré inférieur, aux blocs de *schiste talqueux* et de *schiste argileux*. En outre, cette dernière roche est susceptible de se décomposer, surtout lorsqu'elle contient du fer sulfuré, comme cela se rencontre fréquemment.

Quant à la vallée du Rhône, nous remarquons, comme dans la Basse-Suisse, que le nombre des débris erratiques y est, dans les diverses localités, *en raison inverse du développement de l'industrie*, c'est-à-dire qu'*il diminue à mesure que celle-ci fait des progrès*. Cependant nous n'en trouvons guère dans la vaste plaine du Rhône qui s'étend, sur une longueur de quatre lieues, depuis le défilé de Saint-Maurice jusqu'au lac Léman, et dont la largeur moyenne est d'environ une lieue et demie. Leur rareté dans cette plaine ne peut être attribuée à la culture des terres, puisque la plus grande partie en est restée inculte, et présente encore aujourd'hui de vastes pâturages et de grands marais. Nous essaierons plus loin de rendre raison de l'absence de débris erratiques à la surface du sol de cette contrée (C. 80 *m.*). Il suffit pour le moment de remarquer que c'est principalement sur les flancs des montagnes, soit dans la grande vallée, soit dans les vallées latérales, que l'on rencontre le plus fréquemment de ces fragments. Ils y montent jusqu'à une hauteur que nous indiquerons plus loin (C. 53).

Pourquoi dans certaines localités on ne trouve pas de matériaux erratiques sur les montagnes à l'opposite des vallées qui ont fourni une quantité considérable de débris.

Toutes les vallées un peu considérables qui aboutissent à celle du Rhône, ont contribué au dépôt du terrain erratique. Ici se présente un fait bien remarquable, et qui mérite d'être connu. Plusieurs de ces vallées ont fourni une quantité considérable de débris, et néanmoins on n'en rencontre point sur les flancs des montagnes qui sont à l'opposite de leur entrée. De ce nombre est la vallée de la Viége qui, au bourg de ce nom, débouche à angle droit dans la grande vallée du Rhône. C'est par elle qu'ont dû passer tous les débris venant des vallées de Saas et de Saint-Nicolas. On devait donc s'attendre à trouver des dépôts de l'autre côté du Rhône, sur le flanc de la montagne qui fait face à l'entrée de la vallée de la Viége. Mais il n'en est point ainsi ; on y chercherait vainement de ces débris, si reconnaissables par les serpentines et les schistes talqueux du Mont-Cervin et surtout par les belles euphotides de Saas. Ces roches, après avoir atteint la vallée du Rhône, ne l'on point traversée. Elles se sont tournées à gauche, s'élevant sur le flanc gauche de la vallée[1] jusqu'à une hauteur de plus de

[1] C. L'absence de l'euphotide sur le flanc de la montagne qui fait face à l'entrée de la vallée de la Viége, a été reconnue en premier par **M. de Buch**. Ce fait lui fit concevoir des doutes sur l'origine des fragments d'euphotide qu'on rencontre dans le terrain erratique du bassin du Rhône. Se fondant sur une observation de **M. de Laisez**, d'après laquelle cette roche se trouverait également dans la vallée de Bagnes, **M. de Buch** pensa que les fragments erratiques d'euphotides provenaient de cette dernière vallée. Cependant nous ne saurions partager l'opinion de ce célèbre géologue, relativement à cette localité de l'euphotide. Nous avons des raisons de croire qu'une erreur s'est glissée dans l'observation de **M. de Laisez**, ou plutôt dans les étiquettes de ses échantillons, et que cette roche n'existe pas dans la vallée de Bagnes. En effet, cette vallée a été visitée depuis plus de cinquante ans, toutes les années, soit par feu **M. Abr. Thomas**, soit plus tard par ses fils qui tous, s'occupant de minéralogie, connaissent très-bien cette roche, d'ailleurs si facile à apercevoir, à cause de la belle couleur verte du diallage. **M. Venetz**, étant chargé de la direction des travaux au glacier de Giètroz (C. 34), a passé plusieurs étés au fond de cette vallée et au pied des glaciers, employant ses moments de loisir à étudier la minéralogie et la flore de cette intéressante contrée. Depuis la débâcle de 1818, la vallée de Bagnes a acquis une sorte de célébrité, et les minéralogistes l'ont souvent visitée. Moi-même j'y ai fait plusieurs excursions et examiné avec soin et les moraines et les alluvions, dans le but de m'assurer de l'existence de l'euphotide dans cette localité. Mais nous n'avons réussi, ni les uns ni les autres, à y trouver la moindre trace de cette roche qui, si elle y existait, n'aurait pas échappé aux regards de tant de personnes. Comme l'euphotide à diallage vert d'émeraude n'a été trouvée en Suisse jusqu'à présent que dans les hautes montagnes qui dominent le glacier de Hohenlerch ou Allalein dans la vallée de Saas, nous pensons que les fragments erratiques de cette roche viennent toutes de cette localité.

650 mètres au-dessus du Rhône. On peut en suivre les traces, dès l'entrée de la vallée de la Viége jusqu'à la rencontre de la vallée de Tourtemagne en passant par Unterbach. C'est entre Sierre et Lens qu'on commence à trouver des roches de Saas sur le côté droit de la vallée du Rhône.

Les environs d'Ayent, de Grimisuat et de Savièse, villages qui se trouvent précisément en face de l'entrée de la vallée d'Hérens, ne présentent pas non plus de débris erratiques venant de cette vallée. En revanche, on en trouve beaucoup sur le flanc gauche de la vallée du Rhône dans la direction de Vex à Nendaz.

Enfin la vallée d'Entremont a fourni une quantité considérable de débris erratiques, parmi lesquels le beau granit à gros cristaux de feldspath de la vallée de Ferret est, sinon la roche la plus commune, du moins la plus caractéristique. La vallée d'Entremont débouche dans celle du Rhône près de Martigny, où celle-ci se coude brusquement pour se diriger contre le nord. La montagne de Follaterre ou de Foully, qui forme l'angle de ce coude, fait face à l'entrée de la vallée d'Entremont. Cependant aucun bloc de roche venant de cette dernière vallée n'a été trouvé jusqu'à présent sur le flanc de la montagne de Follaterre. En revanche on en rencontre beaucoup sur le flanc gauche de la vallée du Rhône, c'est-à-dire sur le côté par lequel débouche la vallée d'Entremont. Nous essaierons plus tard d'expliquer la cause pour laquelle les débris des vallées latérales n'ont pas traversé la vallée du Rhône (C. 80).

Nous avons déjà fait connaître les causes pour lesquelles les diverses espèces de roches qu'on trouve à l'état erratique, sont aujourd'hui distribuées d'une manière inégale. Ces causes tenant aux progrès divers des cultures, et en général au développement de la civilisation dans les différentes localités, sont entièrement étrangères au mode de transport des débris erratiques, et par conséquent nous n'avons pas à nous en occuper derechef.

Cependant, quoique la main de l'homme ait considérablement diminué le nombre des fragments erratiques dans la Basse-Suisse, et que le Jura, par diverses circonstances, en ait été plus ou moins préservé, il est néanmoins bien vrai qu'il y a eu de tout temps une plus forte accumulation de débris sur le flanc de cette chaîne, que dans aucune localité située entre le Jura et les Alpes.

C'est ce fait remarquable qu'il nous importe d'expliquer. Voyons si nous y parviendrons par l'hypothèse des glaciers.

On sait que les plus grandes accumulations des débris transportés par un glacier ne peuvent se former que le long des bords, et qu'on les désigne par *moraines* (C. 18). Elles se produisent pendant tout le temps que le glacier avance, ou reste stationnaire. Lorsqu'il va en diminuant, les matériaux éparpillés sur son dos ne peuvent pas s'accumuler. Ils tombent à mesure qu'il fond, et se répandent sur le terrain qu'il vient de quitter. Par conséquent, lorsqu'un glacier se retire sans oscillations, il ne peut pas former d'accumulations : il ne laisse sur son lit que des débris épars.

Il va sans dire que non-seulement toutes les vallées du Valais ont été occupées par des glaces jusqu'à une certaine hauteur, mais que toute la portion de la Basse-Suisse dans laquelle on trouve le terrain erratique venant de la vallée du Rhône, a été également recouverte par le même glacier. *Par conséquent toute la contrée située entre les Alpes et le Jura, et entre les environs de Genève et ceux de Soleure, a été lit de glacier.*

Il résulte de là que nous ne devons y trouver que des débris épars. Il n'a pas pu s'y former de dépôts accumulés, puisque, comme nous l'avons fait voir plus haut, le glacier s'est fondu dans la Basse-Suisse sans éprouver d'oscillation. De plus, il n'y avait pas là de moraines superficielles (C. 20) dont les débris, venant à tomber sur le lit du glacier, eussent pu donner lieu à des bandes. En effet, il n'a pas pu y avoir de ces sortes de moraines dans la Basse-Suisse, parce qu'elles ont dû se disloquer aussitôt que le glacier, ayant quitté la vallée, a eu atteint la plaine, où, n'étant plus gêné dans son mouvement latéral, il a pu s'étendre librement à droite et à gauche. Les débris de ces moraines superficielles, se répandant ainsi sur la surface du glacier, n'ont pu former, lors de sa fonte, que des dépôts éparpillés. Cet énorme glacier se terminait au Jura, contre lequel il s'appuyait; la moraine frontale (C. 18) a donc dû se déposer sur le flanc de cette chaîne de montagnes. Par conséquent il n'est pas étonnant d'y rencontrer une accumulation de débris plus considérable, que dans aucune autre localité située entre les Alpes et le Jura. Nous indiquerons plus loin (C. 80) la cause pour laquelle le glacier s'est plus élevé en face

de la vallée du Rhône que partout ailleurs, et y a déposé une quantité plus considérable de débris que sur les autres points du flanc du Jura (C. 80 *n.*).

La cause pour laquelle on ne trouve pas de fragments erratiques dans la vaste plaine qui s'étend depuis le lac Léman jusque près du défilé de Saint-Maurice, est facile à concevoir. En effet, tout indique que cette plaine n'a été formée que par le remblai d'une portion du lac qui jadis s'étendait jusques à peu de distance de ce défilé, et qui a été comblée tant par les débris erratiques que par le diluvium, comme nous le ferons voir plus loin (C. 84). Il résulte de là que le terrain erratique ne manque pas dans cette plaine, mais qu'il y est entièrement enseveli dans le diluvium, et recouvert par l'alluvium qu'ont déposé le Rhône et les divers torrents qui s'y jettent dans cette localité. La preuve évidente que ce terrain ne manque pas dans la contrée, est fournie par les dépôts erratiques qu'on trouve sur les buttes de monticules de cette plaine, par exemple sur les buttes de *Saint-Triphon* et de *Charpigny*, et sur le monticule appelé le *Montet*. On rencontre aussi beaucoup de ces débris le long des bords de la plaine, mais seulement dans les localités où la faible pente des montagnes qui la bordent, indique que le lac n'a pas été profond.

Notre hypothèse explique également pourquoi le flanc de la montagne qui fait face à l'entrée d'une vallée latérale, ne présente pas de débris venant de cette vallée. En effet, le glacier de la vallée latérale a été empêché par celui de la grande vallée de traverser cette dernière; par conséquent il n'a pas pu atteindre le flanc de la montagne qui lui faisait face, et y déposer des débris. Cet accident se présente fréquemment dans nos glaciers actuels. Ainsi, par exemple, dans les environs de *Zermatt*, les glaciers d'*Ob-dem-See*, de *Schwarzi*, de *Klein-Triftig*, et de *Gros-Triftig*, descendant du massif du *Mont-Rose*, viennent tous rejoindre le grand glacier de *Gorner* par son côté méridional. Les trois derniers y aboutissent à angle droit. Mais les débris qu'ils charrient ne traversent point le glacier de *Gorner;* on en chercherait donc en vain sur son bord septentrional c'est-à-dire sur le flanc de la montagne de *Riffel* qui fait face à ces glaciers. Ces débris donnent lieu à des moraines superficielles, remarquables par leur régularité, et qui, parfaite-

ment parallèles entre elles et à la direction longitudinale du grand glacier, s'étendent jusqu'à son pied sans le traverser nulle part.

C. 53. Nous allons maintenant indiquer la hauteur à laquelle le terrain erratique s'élève sur les flancs des montagnes, tant dans les Alpes que sur le Jura. Hauteur où atteint le terrain erratique.

Si nous commençons notre recherche par l'extrémité supérieure du Valais, connue sous le nom de *vallée de Conches*, nous trouvons des débris erratiques déjà dans la région des glaciers, où ils se confondent avec les moraines et les lits de glaciers. Extrémité supérieure du Valais. Vallée de Conches.

La limite du terrain erratique ne devient distincte que dans les environs de *Lax* et d'*Ærnen*, où elle est à environ 909 mètres au-dessus du Rhône. Vers le *bassin de Brigue*, elle descend peu à peu jusqu'à la hauteur de 812 mètres. Elle conserve à peu près cette élévation jusqu'au-dessous de *Martigny*, car c'est à *Birchen*, au-dessus de *Viége*, à *Ayent*, au-dessus de *Sion*, à *Revoière*, au-dessus de *Martigny*, que nous trouvons les débris les plus élevés. Mais dès cette dernière ville, la vallée se resserrant derechef un peu, les débris erratiques ne tardent point à s'élever davantage sur les deux côtés de la vallée; au-dessus d'Alesse ils atteignent presque à 974 mètres d'élévation. Ils se conservent à cette hauteur jusqu'aux montagnes de *Morcle* et de *Saint-Maurice*, où, la vallée venant à s'élargir considérablement, la limite de ce terrain descend rapidement. En effet, déjà au-dessus de *Vérossaz*, à *Chessières* et entre *Nère* et les *Quaouvaz* (au-dessus de *Monthey*), elle n'est plus qu'à 747 mètres au-dessus du Rhône. Elle se maintient à cette hauteur, des deux côtés de la vallée, jusqu'au *bassin du lac Léman*. Là, sur la rive droite elle s'élève presque tout à coup aux chalets de la *Playau* au-dessus de Vevey à 847^{m},8[1], tandis que sur la rive gauche, aux rochers de Mimise, elle descend jusqu'à 650 mètres. De là, continuant toujours à baisser, elle atteint le niveau du lac à quelque distance au delà de Thonon. Lax et Ærnen. Les bassins de Brigue, Viége, Sion et Martigny. Morcle. Saint-Maurice au-dessus de Monthey. Bassin du lac Léman. Chalets Playau. Thonon.

Dans les vallées latérales du Rhône, le terrain erratique se présente de la même manière que dans la grande vallée. En effet, vers leur naissance et en général dans toute leur partie supérieure, le Vallées latérales du Rhône.

[1] C. Les chalets de la Playau sont à 1222 mètres au-dessus de la mer, d'après les mesures barométriques de M. Maup.

terrain erratique atteint les glaciers, et se confond avec les moraines et les lits de glaciers. Ce n'est qu'à mesure qu'on s'éloigne des hautes montagnes et qu'on s'approche de la grande vallée, que l'on trouve quelque régularité dans la manière dont le terrain erratique se termine sur le flanc des montagues.

Ainsi, la limite du terrain erratique de la vallée d'Entremont ne commence à prendre un certain niveau qu'au-dessus d'*Orsières*. Là, elle s'élève sur la montagne de *Plan-y-Beuf* (C. 50) à 877 mètres au-dessus du sol de la vallée. De là, elle baisse peu à peu en s'approchant de la grande vallée, à la rencontre de laquelle elle se trouve à 812 mètres au-dessus du Rhône. Cette même disposition se reproduit près de *Stalden* dans la vallée de la *Viége*, où s'opère la jonction de cette dernière vallée avec celle de *Saas*. La limite du terrain erratique s'y trouve à 812 mètres au-dessus de la *Viége*, et se maintient à cette hauteur jusqu'à la grande vallée. Dans la *vallée de l'Avançon*, cette limite se rencontre sur la montagne de *Jorogne* à 747 mètres au-dessus du sol de la vallée.

Terrain erratique sur la montagne de Plan-y-Beuf, 877 mètres au-dessus du sol de la vallée.

T. E. Près de Stalden, 812 mètres au-dessus de la Viége.

Jorogne, vallée d'Avançon, 74 mètres.

Enfin quant au *Jura*, la limite du terrain erratique y décrit une courbe dont le sommet se trouve en face de la vallée du Rhône, sur le flanc méridional de *Chasseron*, à une élévation, qui, d'après les mesures de **M. de Buch**, est de 1007 mètres au-dessus de la plaine. Les extrémités de cette courbe atteignent la plaine, l'une du côté de *Soleure*, l'autre du côté de *Gex*. Si nous suivons la limite du terrain erratique dès le *Chasseron* en nous dirigeant vers l'est, nous trouvons que, jusqu'à *Montbourget*, elle se maintient en général à la hauteur indiquée. Là elle commence peu à peu à descendre en passant au-dessus de *Bonvillars*, de *Corcelles* et de *Concise*, d'où, en contournant le *Mont d'Aubert*, elle se dirige contre *Moutrus* et *Provence*. Au-dessus de ce dernier village, elle atteint presque les *Prés Mourons* au faîte du chaînon de montagnes qui sépare le bassin du *lac de Neuchâtel* du *val de Travers*. Mais elle ne le dépasse ni là ni dans aucune autre localité entre *Bullet* et *Boudry*.

T. E. Jura en face de la vallée du Rhône sur le Chasseron, 1007 mètres au-dessus de la plaine.

C'est à *Boudry* que le *val de Travers* débouche dans le bassin du lac, et c'est par conséquent près de ce bourg que les débris erratiques sont entrés dans cette vallée et y ont pénétré jusqu'au-dessus

de *Couvet* et de *Motiers*. Au *Chaumont* près de Neuchâtel, la limite de ce terrain est, d'après **M. de Buch**, à 779m,6 au-dessus du lac. **M. Thurmann** nous apprend qu'il y a encore des blocs erratiques sur le revers septentrional du *Chasseral* à 1100 et même à 1200 mètres au-dessus de la mer, par conséquent à 650 et même à 715 mètres au-dessus du lac. Cette limite n'est du côté d'Orvin qu'à 227m,4. De là, elle descend peu à peu en passant au-dessus de Bienne, de Grenchen, et par Oberdorf, d'où elle atteint bientôt la plaine au-dessous de Soleure.

Terrain erratique au Chaumont (Neuchâtel), 779m,6 au-dessus du lac de Neuchâtel.

Chasseral T. E. 615 à 715 mèt es au-dessus du lac de Neuchâtel.

Reprenons maintenant notre limite à son point culminant sur le revers du *Chasseron*, près de *Bullet*, et suivons-la du côté de l'ouest. De *Bullet*, elle se dirige vers *Sainte-Croix*, sans cependant atteindre ce village, et, à plus forte raison, sans s'élever jusqu'au col de *Nervaux*, qui sépare le vallon de *Sainte-Croix* du *val de Travers*. Les galets de roches alpines que l'on trouve entre ce village et ce col, appartiennent au diluvium. Conservant une élévation d'environ 975 mètres au-dessus du lac de Neuchâtel, elle passe de là au-dessus de *Beaulmes*, de l'*Abergement*, de *Lignerolles* et de *Ballaigues* jusqu'au-dessous du village de *Jougne*, où elle n'est plus qu'à 617 mètres au-dessus de ce lac, soit 683m,4 au-dessus du lac Léman. A l'ouest de Jougne, les débris erratiques entrent dans la petite vallée de Vallorbe, mais ils ne pénétrent pas jusqu'au fond. Ils ne dépassent guère la *Jougnenaz*, torrent qui vient du vallon de *Jougne*. Cet accident est fort remarquable et nous tâcherons de l'expliquer plus tard (C. 80 *a*). Depuis la vallée de *Vallorbe*, la limite du terrain erratique passe sur les monts de la *Bretonnière*, à la hauteur de *Premier*, au-dessus de *Romainmotiers* et de *Juriens*. De là plus à l'ouest, elle suit le premier plateau, qui longe le flanc du Jura au-dessus de la *Praz*, de *Mont-la-Ville*, de *Bière*, jusque près de *Saint-George*. De *Jougne* à *Saint-George* elle a baissé de 115 mètres, car près de cette dernière localité sa hauteur n'est plus que de 568m,4 au-dessus du lac Léman. Elle continue à descendre sous *Arzier*, et, à peu de distance au sud de *Givrins*, elle n'est qu'à 260 mètres au-dessus de ce lac. Mais de là elle remonte rapidement et atteint, près des *Chalets* du *Baule* au-dessous de la *Dôle*, une élévation d'environ 650 mètres. Elle ne se maintient pas longtemps à cette hauteur, elle descend rapidement vers la plaine du pays de

Terrain erratique sur le revers du Chasseron vers l'ouest. De Bullet à Sainte-Croix, 975 mètres. — Au-dessous du village de Jougne, 617 mètres au-dessus du lac de Neuchâtel.

T. E. Jougne à Saint-George, 568m,4 au-dessus du lac Léman. A Arzier, 260 mètres. Aux chalets de Baule il remonte à 650 mètres et descend rapidement vers la plaine du pays de Gex.

Gex, où elle est effacée par le mélange qui s'y opère entre les débris erratiques et le vaste dépôt de diluvium qui longe le pied du Jura dès le lac de Neuchâtel jusqu'au *Fort-de-l'Écluse*.

Les débris erratiques les plus élevés sur les flancs des montagnes ont été déposés à l'époque d'un grand développement des glaciers diluviens. Ces dépôts ne sont autre chose que les moraines que ces glaciers ont formées lorsqu'ils avaient acquis leur plus grande épaisseur. Par conséquent, l'élévation de ces débris nous indique le maximum de l'épaisseur de ces glaciers. Ainsi, depuis *Ærnen*, dans le *Haut-Valais*, jusqu'à *Brigue*, le glacier a eu constamment 910 mètres d'épaisseur, car c'est la plus grande hauteur où l'on trouve les débris erratiques sur les flancs des montagnes qui bordent la vallée. Mais à *Brigue*, la vallée venant à s'élargir, le glacier a dû s'élargir également, ce qui l'a fait diminuer d'épaisseur. En effet, dans les environs de ce bourg, les débris ne s'élèvent qu'à 810 mètres au-dessus du *Rhône*. De là jusqu'à *Martigny*, la vallée conservant une largeur sensiblement égale, le glacier n'a pas varié non plus dépaisseur, car dans tout ce trajet, qui est cependant de 17 lieues, les fragments ne montent guère à plus de 810 mètres au-dessus du sol de la vallée. Entre *Martigny* et *Saint-Maurice*, la vallée se resserre derechef, et le glacier, en se rétrécissant, a dû augmenter d'épaisseur. Aussi entre ces deux villes, la limite du terrain erratique se trouve presque à 975 mètres au-dessus du *Rhône*. Mais à peu de distance en aval de *Saint-Maurice*, la vallée s'élargit considérablement, et conserve cet évasement jusqu'au bassin du lac *Léman*. Cette circonstance a dû produire une diminution dans l'épaisseur du glacier, et en effet les débris les plus élevés des deux côtés de la vallée ne sont qu'à 750 mètres au-dessus du niveau du *Rhône*.

Terrain erratique depuis Ærnen jusqu'à Brigue, 910 mètres de hauteur.

Terrain erratique de Brigue à Martigny, 810 mètres de hauteur.

Terrain erratique entre Martigny et Saint-Maurice, 975 mètres de hauteur.

T. E. Saint-Maurice jusqu'au bassin du lac Léman, 750 mètres de hauteur.

Après avoir atteint le bassin du lac, le glacier a bientôt rencontré le plateau du Jorat qui, gênant sa marche progressive, l'a fait augmenter d'épaisseur du côté de l'est, où la chaîne des *Verreaux* l'empêchait de s'étendre latéralement. En effet, il s'y est élevé jusqu'à la hauteur de 845 mètres, comme on le reconnaît par les débris qu'il a déposés sur la montagne de la *Playau*. Mais vers l'ouest s'ouvrait le vaste bassin du lac où aucun obstacle ne gênait le mouvement latéral du glacier ; il s'est donc étendu de ce côté en dimi-

T. E. Bassin du lac Léman au plateau du Jorat, 845 mètres de hauteur.

nuant d'épaisseur, de manière qu'au delà de *Thonon*, son bord latéral est descendu jusqu'au bord du lac. Lorsqu'une fois il a eu dépassé le plateau du *Jorat*, le glacier n'a plus trouvé de montagnes à franchir jusqu'à la rencontre du *Jura*, qu'il a atteint entre *Vuittebœuf* et *Bonvillars*. Cette chaîne de montagnes a opposé une barrière infranchissable à son mouvement progressif. Il a dû s'opérer sur ce point une grande accumulation de glace. En effet, le glacier y a gagné une épaisseur suffisante pour déposer sa *moraine frontale* à 975 mètres au-dessus du niveau du lac de *Neuchâtel*. Cependant le long des bords latéraux, ne rencontrant aucun obstacle, il s'est considérablement élargi, et il a en même temps diminué d'épaisseur. De cette manière, le glacier étant parvenu au maximum de son développement, son bord frontal et par conséquent la moraine terminale qu'il a déposée, ont décrit sur le flanc du *Jura* la courbe surbaissée que nous y présentent aujourd'hui les limites du terrain erratique (C. 52).

Moraine frontale à 975 mètres au-dessus du lac de Neuchâtel.

Le mode de mouvement des glaciers nous explique facilement pourquoi c'est au sommet de cette courbe, précisément en face de la vallée du *Rhône*, que se trouve la plus grande accumulation de débris. C'est parce que cette localité est exactement l'endroit vers lequel a dû se diriger le mouvement longitudinal du grand glacier, à partir de *Martigny*. Ce mouvement a dû être plus considérable que le mouvement latéral, tant que la largeur du glacier dans la plaine de la *Basse-Suisse* n'a pas égalé la distance de *Martigny* au *Jura*. Cette largeur n'est devenue égale à cette distance que lorsque les bords latéraux du glacier ont atteint d'un côté le lac de *Bienne*, et de l'autre les environs de *Nyon*. Comme c'est dans la direction de leur mouvement longitudinal que les glaciers transportent toujours le plus de matériaux, nous ne devons pas être surpris de trouver les plus grandes accumulations de débris précisément en face des vallées qui débouchent dans le bassin de la *Basse-Suisse*, car ce n'est que dans le sens de la direction des vallées que le mouvement longitudinal peut avoir lieu.

La plus grande accumulation de blocs est en face de la vallée du Rhône.

Enfin, l'hypothèse des glaciers nous rend également raison de ce fait remarquable, que la limite du terrain erratique, au lieu de continuer à descendre du côté de l'ouest, se relève assez brusquement près de *Givrins*, pour atteindre une hauteur de 750 mètres

Le terrain erratique atteint 750 mètres aux chalets du Boule.

aux chalets du *Boule*, depuis où, baissant derechef, elle se perd ensuite dans la plaine, se mêlant avec le diluvium et se confondant avec les débris erratiques sortis de la vallée de l'*Arve*. La cause de cet accident paraît être due à la rencontre du glacier qui a débouché de cette dernière vallée et qui, empêchant celui du Rhône de s'étendre davantage dans une direction horizontale, l'a forcé à se dilater de bas en haut, c'est-à-dire d'augmenter en épaisseur. Cette anomalie ne se trouve pas vers l'est, parce qu'aucun autre glacier de ce côté n'a atteint le *Jura* et n'a gêné la tendance de celui du *Valais* à s'élargir dans cette direction.

Manière dont le terrain erratique finit.

C. 54. Nous devons encore dire un mot de *la manière dont le terrain erratique se termine*, c'est-à-dire de la forme sous laquelle il se présente le long de sa limite. On remarque que ce terrain finit :

1° *Par une digue ou bande.*

2° *Par un dépôt éparpillé.*

3° *Par un mélange avec les débris évidemment déposés par les glaciers.*

4° *Par un mélange avec le diluvium*[1].

Le terrain erratique se termine ordinairement de la première manière sur le flanc des montagnes, à moins toutefois que le degré de pente ou les torrents n'aient mis obstacle à une accumulation de débris. Lorsque ces *digues* ou *bandes* rencontrent une dépression dans le flanc de la montagne, ou quelque vallon, elles sont rompues ou disloquées par les eaux, et forment fréquemment ce genre de dépôt que nous avons décrit (C. 49) sous le nom de *dépôt stratifié.*

Digues ou bandes.

Dépôts éparpillés.

La seconde forme se présente aussi bien sur un terrain en pente que sur un sol plat. On la rencontre fréquemment sur le flanc du Jura.

Mélange du terrain erratique par érosion.

Nous avons déjà dit que, dans les hautes régions des vallées des Alpes, les débris erratiques se mêlent avec ceux que les glaciers ont déposés, de manière qu'on ne peut plus les distinguer les uns des autres, ni reconnaître la limite entre ces deux sortes de dépôts. On ne saurait donc indiquer, ni où l'une cesse, ni où l'autre commence.

[1] D, A. Terrain remanié par les eaux (par érosion).

La même incertitude se retrouve encore dans les endroits où ce terrain a pu être atteint par les eaux courantes, qui, ayant emporté, ou du moins déplacé les débris, les ont mêlés avec le diluvium. C'est le cas aux deux extrémités du terrain erratique, c'est-à-dire, à l'est, entre *Soleure* et *Seeberg*, et à l'ouest, entre *Gex* et *Genève.* En effet, la masse considérable d'eau qui pendant longtemps a dû se verser dans le bassin de la Basse-Suisse, n'a pu en sortir qu'en passant par ces localités. Il n'est donc pas étonnant que le terrain erratique n'y offre pas une limite nettement tracée. On est réduit à l'y deviner et à admettre que le terrain erratique proprement dit finit où l'on cesse de trouver des fragments bien conservés, et où l'on remarque que le triage des débris commence à s'établir selon le volume (C. 40).

Nous avons fait voir que le terrain erratique se termine de quatre manières différentes. Il finit ou par une accumulation en forme de *digue* ou de *bande*, ou par des *débris épars*, ou par *se mêler peu à peu au diluvium*, ou par *se confondre avec les moraines des glaciers actuels.*

Digues ou bandes.

L'hypothèse que nous exposons rend très-bien compte de ces divers accidents. Dans les localités où la pente du sol n'était pas trop abrupte, les débris ont été déposés en *forme de digues* ou de *bandes*, dont le volume dépendait de la quantité de matériaux amenés par le glacier.

Dépôts éparpillés.

Lorsqu'un glacier transporte peu de matériaux dans un endroit, ou qu'il les dépose sur un sol trop incliné pour qu'ils puissent s'y accumuler, il ne forme que des *dépôts éparpillés*, tels qu'on les observe fréquemment sur la limite du terrain erratique.

Blocs isolés.

Notre hypothèse nous explique également les *blocs isolés* ou *épars* sur les flancs des montagnes et sur les cimes ou plateaux des monticules ou buttes qui s'élèvent au-dessus du sol des vallées et de la plaine de la *Basse-Suisse*. Pour se rendre compte de leur état d'isolement, on n'a donc pas besoin de supposer qu'ils ont été amenés par une débâcle et déposés avec de menus débris, ni que ces derniers ont été ensuite enlevés soit par des torrents (dont l'existence est le plus souvent contestée par les accidents du terrain), soit par une autre débâcle, nécessairement tout aussi considérable que la première.

Dans les localités qui sont atteintes par les torrents, les débris ne peuvent s'entasser ni former des moraines. Les eaux les entraînent sans cesse et les changent en alluvium. En effet, chaque glacier présente des dépôts alluviens à son pied et en général dans tous les endroits du voisinage où les eaux peuvent déposer ces matériaux. Par conséquent on ne peut rencontrer des moraines dans le cours des torrents des glaciers.

Il a dû en être de même des glaciers diluviens. Il n'est donc pas étonnant qu'on ne trouve pas de moraines ni même de dépôts épars dans les localités qui ont servi de lits aux torrents gigantesques fournis par l'énorme glacier diluvien du Valais. Ces torrents ont dû s'échapper du glacier par les bords latéraux, parce que la chaîne du Jura empêchait tout écoulement par le bord frontal durant tout le temps que le glacier s'appuyait contre son flanc. Il suffit de jeter un coup d'œil sur la carte de la Suisse pour voir que les issues des torrents principaux, et par conséquent leurs cours ont dû se trouver, l'un entre Genève et Gex, et l'autre entre Soleure et Seeberg. Or dans ces deux contrées il est impossible de reconnaître quelque disposition de débris erratiques en forme de digues ou de bandes, car ces débris s'y confondent entièrement avec le diluvium.

Aucun triage ne peut avoir lieu dans les transports opérés par les glaciers.

Si l'on considère que les dépôts qui dessinent les limites du terrain erratique ne sont que les moraines ou bandes déposées à l'époque du maximum de développement[1] des glaciers diluviens, on comprendra facilement pourquoi il s'y trouve indistinctement d'énormes blocs mêlés avec de menus débris; c'est qu'*aucun triage selon le volume ne peut avoir lieu dans les transports, non plus que dans les accumulations opérées par les glaciers.* En revanche, si ces déplacements avaient été effectués par des courants, on ne pourrait pas trouver de gros blocs sur les limites du terrain erratique. On n'y rencontrerait que de minces fragments, parce que, quand un courant en se ralentissant commence à déposer les gros matériaux, il continue néanmoins à en charrier encore d'un plus petit volume et à les déposer successivement plus loin, à mesure qu'il diminue de vitesse et par conséquent de force.

[1] D. A. Voy. notes antécédentes.

Lorsqu'on suit le terrain erratique depuis le *Jura* jusque dans le *Valais* et qu'on continue cette recherche jusqu'au fond des vallées, on arrive à ne pouvoir plus distinguer les débris qui constituent ce terrain, de ceux que tout le monde reconnaît pour avoir été transportés et déposés par les glaciers actuels [1]. Cette transition incontestable du terrain erratique aux moraines des glaciers est, à mon avis, un des faits qui milite le plus en faveur de l'hypothèse des glaciers. Les vallées de *Binnen*, de *Saas*, de *Zermatt*, d'*Annivier*, de *Bagnes*, de *Ferret*, de *Chamounix* etc. sont très-propres à l'étude de ce fait.

Notre hypothèse fournit également une explication satisfaisante de la rencontre fréquente et même du mélange des débris erratiques avec le terrain diluvien. Aucune autre hypothèse ne saurait le faire. Ainsi par exemple celle des courants ne peut l'expliquer. En effet, elle suppose que ces courants ont été doués, ou d'une vitesse capable de projeter par-dessus nos lacs et nos plaines des blocs de plusieurs mille pieds cubes, ou bien d'une consistance assez épaisse pour résister à la gravité de ces blocs. Par conséquent, qu'on admette l'une ou l'autre de ces suppositions, il est impossible de concevoir comment ces courants, en transportant ces blocs, auraient pu déposer en même temps des couches minces et régulières de limon, de sable et de gravier, alternant avec des couches de galets et fréquemment entremêlés d'énormes blocs. Les rapports qui existent entre le terrain erratique et le terrain diluvien sont si intimes et en même temps si intéressants, que nous en ferons le sujet d'un paragraphe particulier (C. 84).

L'hypothèse des glaciers nous explique encore pourquoi les *débris erratiques du Valais* ne sont pas entrés dans la *vallée de la Sarine*, au delà du village de la *Tour-de-Trême*, près de *Bulle*, et pourquoi on n'en trouve point le long de cette rivière jusqu'au pont de *Cor-*

[1] C. **M. Jean-André de Luc** se refuse à admettre ce fait, car il dit en parlant du *glacier des Bois* (*Bibl. univ. de Genève*, t. XXI, p. 144) «que **de Saussure** était en «erreur en prenant pour moraines de ce glacier des amas de blocs situés à une dis«tance beaucoup plus grande que celle que le glacier atteignait cette année-là (1822).» Quelques lignes plus loin, cet auteur nous apprend «qu'on verra dans un mémoire en«voyé à la Société géologique de France, que ces moraines *supposées* sont des blocs «erratiques aussi anciens que ceux qui reposent sur le Mont-Salève et sur le Jura.»

D. A. Voy. plus loin les ⁂ A. D. **André de Luc.**

bières. Lorsque le glacier du Rhône est arrivé dans cette contrée, celui de la *vallée de la Sarine* avait déjà atteint les environs de la *Tour-de-Trême*, et il a ainsi empêché le premier de pénétrer plus avant dans cette vallée. A la retraite du glacier du *Rhône*, celui de la *Sarine* a encore avancé, mais seulement jusqu'à *Corbières*, poussant devant lui et rejetant sur les côtés les débris que l'autre pouvait avoir déposés. Nous donnons la même explication pour les blocs erratiques venant du Valais, que l'on rencontre éparpillés dans la vallée de la *Drance-du-Chablais* jusque dans les environs de *Vacheresse*, et d'après **M. Studer**, à quelque distance au-dessous de *Saint-Jean-d'Aulps*. La seule différence entre ces deux faits consiste en ce que le glacier de la *Drance*, après la retraite de celui du Valais, n'a pas nettoyé le terrain aussi complétement que celui de la *Sarine*, mais qu'il a laissé subsister quelques blocs étrangers à la contrée, comme témoins de l'invasion que le *glacier du Rhône* avait faite jadis dans la vallée de la *Drance*.

Enfin, l'existence de fragments de roches du Valais dans quelques vallées du Jura, se concilie parfaitement avec l'hypothèse des glaciers.

C'est dans le *val de Travers* que se rencontrent les dépôts erratiques les plus considérables qu'on trouve dans les vallées du Jura. Ce vallon débouchant près de Boudry dans le bassin du lac de Neuchâtel, il n'est pas du tout surprenant que le glacier diluvien du Rhône y ait pénétré jusqu'à *Couvet* et à *Motiers* et qu'il y ait déposé des débris.

M. Thurmann rapporte (*Essai sur les soulèvements jurassiques*, cah. 2, p. 38) que ces débris « entrent très-avant dans l'intérieur « des bassins jurassiques, qu'ils encombrent les parties inférieures « du val d'*Orvins*, qu'ils montent très-haut dans le petit val de *Vauf-« felin*, où il s'en trouve considérablement, et qu'ils occupent, « quoique toujours en diminuant quant à leur nombre et à leur « grosseur, les vals de *Péry, Saint-Imier, Tavannes* et *Bellelay.* » Cette dernière circonstance, savoir la diminution de volume de ces débris, autorise à croire que les débris venant du Valais que l'on trouve dans ces quatre vallées, ne font plus partie du terrain erratique, mais appartiennent au diluvium déposé par les torrents s'échappant de la portion du glacier qui près du Chasseral menaçait

d'envahir le *val Saint-Imier*. Le galet de Gabro trouvé par M. **Studer** près de *Pierre-Pertuis* (*Monographie de la molasse*, p. 224), peut très-bien y être arrivé de la même manière. Quant aux débris qu'on rencontre dans les *vals d'Orvins* et de *Vauffelin*, il ne paraît pas douteux qu'ils n'y aient été déposés par le glacier même qui a pénétré jusque-là par le défilé de la vallée de la Suze. En effet, le plateau qui au-dessus du village de *Bœzingen* domine à l'est l'entrée de cette gorge, présente beaucoup de blocs erratiques plus ou moins espacés.

Étendue du terrain erratique.

C. 55. Le Valais est, de toutes les vallées de la Suisse, celle qui a fourni le plus de débris erratiques. Mais c'est aussi celle dont les débris, dispersés le plus loin, sont par conséquent répandus sur la plus grande surface.

En effet, on en rencontre dans toutes les vallées du bassin du Rhône, et sur les flancs de ses montagnes, où ils s'élèvent à une hauteur que nous avons déjà fait connaître (C. 53).

Ils sont également dispersés sur toute la plaine entre les *Alpes* et le *Jura*, dès *Soleure* jusqu'aux limites orientales du canton de *Genève*. Mais ils y sont distribués d'une manière fort inégale. Il y a des localités où l'on en rencontre un grand nombre, tandis qu'il y en a d'autres où les débris erratiques sont fort rares. Nous avons déjà fait remarquer (C. 52) combien la population et l'industrie ont contribué à produire cette différence. Mais ce serait une grande erreur de l'attribuer uniquement aux progrès de la civilisation; car il y a des contrées où les hommes n'ont pas encore sensiblement changé la surface du sol, et où cependant on ne trouve point ou presque point de débris erratiques. Il est possible, il est même probable que, dans la plupart de ces contrées, les débris ont été ensevelis sous le diluvium. Mais il y a d'autres localités où cette probabilité n'existe pas, et où il est évident que jamais il n'est venu de débris erratiques, quoique les accidents de terrain n'aient dû opposer aucun obstacle à leur dépôt. Nous ferons connaître plus loin comment il a pu arriver que des terrains d'une étendue considérable n'aient jamais été recouverts de débris erratiques. Enfin on sait que ce terrain atteint une grande hauteur sur le flanc méridional du Jura (C. 53). C'est sur la limite que se trouvent presque constamment le plus de débris. Ils forment, depuis *Provence* jus-

limite du terrain erratique. Au delà de cette ligne, la surface des rochers est raboteuse, comme la cassure fraîche. Au fond des vallées, ou vers leur extrémité supérieure, ces marques d'usure se confondent entièrement avec les frottements produits par les glaciers (C. 17). Il est même très-important de faire observer que, à mesure qu'on s'approche du faîte des hautes chaînes des Alpes, ces usures deviennent plus prononcées et, en quelque sorte, plus développées. Le *Saint-Bernard*, le *Simplon*, le *Saint-Gothard*, le *Grimsel*, le *col d'Anzeindaz*, le *Sanetz* etc. confirment cette assertion.

Les marques de frottement ne se rencontrent pas uniquement dans les Alpes. On les retrouve aussi sur le revers méridional du Jura, où elles portent le nom de *Laves*. **M. Agassiz** en a donné la description[1].

On n'en observe guère dans la Basse-Suisse, parce que les rochers, y étant principalemeut de molasse, roche tendre et destructible, n'ont pas pu conserver leurs anciennes surfaces. Cependant la gompholite (*Nagelfluh*) de ce pays en présente quelquefois. Ainsi on trouve des marques bien distinctes de frottement sur les *Monts-de-Chardonne*, sur le *Pèlerin*, sur le *Mont-de-Cheseaux* etc.

Les roches dures, telles que les *granits*, les *gneiss*, les *schistes très-quartzeux*, les *poudingues de Vallorsine* etc. sont celles qui présentent le mieux cet accident[2]. Lorsque la surface frottée d'une roche présente des rognons de quartz, substance qui résiste singulièrement bien à l'action atmosphérique, on reconnaît quelquefois sur ces derniers des **stries** tellement fines qu'il faut faire usage même de la loupe pour les bien apercevoir. Ces stries, parallèles entre elles, et non à la pente de la montagne, mais plutôt à celle du sol de la vallée, semblent être rayées au moyen d'un fin burin. Le

Stries.

[1] *Discours d'ouverture des séances de la Société helvétique des scienees naturelles réunie à Neuchâtel en 1837*, p. 11.

[2] Les localités où l'on peut l'observer sont si nombreuses qu'il serait fastidieux d'en faire l'énumération ; nous nous bornerons à en indiquer quelques-unes seulement. On trouve des frottements sur le granit à *Champé*, au *Grimsel;* sur le gneiss, à *Morcle*, à *Evionnaz*, à *Branson ;* sur le schiste talqueux quartzeux et sur la serpentine, à *Zermatt*, à *Bagnes ;* sur le poudingue de Vallorsine, à la *Poja de Salvan*, au *Diabley*, à *Alesse ;* sur le calcaire, à *Saint-Maurice*, à *Roche* etc.

gneiss présente cet accident à *Es-Lex*, à *Branson*, ainsi que les *poudingues de Vallorsine à Diabley* etc.[1]

Si l'on se souvient de ce que nous avons dit au C. 17 de l'effet produit par les glaciers sur les rochers avec lesquels ils se trouvent en contact, on se rendra parfaitement compte des marques de frottement et d'usure des anciennes surfaces de rochers qui ont été atteintes par les débris erratiques ou plutôt par les glaciers qui en ont opéré le transport. Cet accident est donc si facile à expliquer par l'hypothèse qui nous occupe, qu'il serait oiseux d'entrer ici dans de plus grands détails. Il en est de même du fait remarquable que les marques de frottement deviennent plus prononcées à mesure qu'on remonte les vallées et qu'on s'approche des crêtes des montagnes et surtout du faîte des Alpes. En effet, on conçoit aisément que, dans ces hautes régions, l'accumulation des glaces a été non-seulement plus considérable, mais aussi et surtout de plus longue durée que dans les régions basses des vallées. Par conséquent les rochers y ont été plus longtemps exposés au frottement produit par le mouvement des glaciers. Ce fait ne peut être expliqué par aucune des autres hypothèses[2].

[1] C. **Mme du Thon** vient de faire arranger une terrasse à 200 mètres au-dessus du sol de la vallée de l'Avançon, au sommet de la forêt qui domine sa charmante campagne de Monchalet, près de Bex. Le déblaiement de terres que nécessitait cette terrasse, établie pour qu'on puisse y jouir de la vue magnifique qui de là s'étend sur la plaine de la vallée du Rhône et se prolonge par-dessus le lac Léman jusqu'au Jura, a mis à découvert une portion de rocher, laquelle présente les tranches des couches calcaires qui constituent la montagne. La surface presque verticale du rocher est *frottée et lissée* d'une manière remarquable et elle offre de ces *stries fines* et parallèles dont nous venons de parler. Comme cette surface ne se trouve plus abritée contre les agents atmosphériques par les terres et les menus débris erratiques qui l'ont préservée jusqu'à présent, il serait à craindre que ces stries ne disparussent promptement, si **Mme du Thon**, aimant beaucoup les sciences naturelles et particulièrement la géologie, ne s'était proposé de les garantir de l'intempérie du temps par quelque construction appropriée à la localilé.

[2] C. Le fameux **Roc poli** du *col de la Fenêtre*, près Saint-Bernard, n'est point du tout le résultat du frottement de quelque glacier, comme le prétend **M. Agassiz** (*Bibliothèque universelle*, avril 1839, p. 389). Il suffit de voir sur les lieux cet accident remarquable, pour se convaincre que jamais glacier n'a été en contact avec ces surfaces polies, qui ne sont autre chose que les parois de plusieurs fissures capillaires et parallèles entre elles. Or celles-ci, comme l'avait déjà dit **M. de Saussure**, se sont frottées les unes contre les autres, sans doute au moment du soulèvement. **M. de Leonhard**, qui partage entièrement cette dernière opinion, attribue avec beaucoup de raison l'espèce de vernis qui relève ce beau poli, à une vitrification ou fusion des

Érosions verticales.

C. 57. Les surfaces *horizontales* et *frottées* des rochers calcaires offrent fréquemment des creux d'une forme irrégulière de quelques centimètres, soit de profondeur, soit de diamètre. Il n'y a pas de doute qu'ils n'aient été produits par de l'eau tombante. On en trouve sur le plateau calcaire de *Vérossaz*, sur celui de *Saint-Triphon*, à *Roche*, à *Ardon*, à *Sierre* (du côté de Geronde) et dans un nombre de localités.

Sillons (coups de gouges).

Les surfaces des roches calcaires situées dans le domaine du terrain erratique, présentent aussi des sillons semblables à ceux des lits calcaires des glaciers, pourvu que la roche calcaire présente les conditions que nous avons fait connaître (C. 35).

Nous ne saurions passer sous silence deux érosions fort remarquables, l'une près de *Sion* et l'autre dans les environs de *Bex*. La première se trouve à l'extrémité orientale du monticule de *Châteauneuf*, à gauche de la route de *Sion* à *Martigny*. C'est un rocher de calcaire micacé, escarpé du côté du nord. On remarque sur le sommet une excavation en *forme de cuve*, d'où descend un *sillon vertical creusé* dans la paroi du rocher par l'eau qui déversait de la cuve. Cette dernière a été évidemment excavée par une chute d'eau, quoique le monticule ne soit dominé par aucune élévation d'où eût pu venir la cascade.

L'autre accident de ce genre se trouve près de la maison **Bertrand**, à gauche de la route de *Bex* à *Saint-Maurice*. C'est également une *cuve* très-régulière au pied d'un rocher sur lequel on remarque encore l'érosion verticale de la chute d'eau qui a creusé la *cuve*. Ce rocher fait partie d'une butte calcaire sur laquelle il n'existe aucun courant d'eau et où il serait même très-difficile d'en amener pour rétablir la cascade.

Creux et sillons.

L'hypothèse des glaciers n'explique pas moins bien l'origine des creux et des sillons qu'on remarque fréquemment sur les surfaces plus ou moins horizontales des rochers calcaires. Pour se

masses violemment et rapidement frottées les unes contre les autres (*Géologie des gens du monde*, p. 406).

D. A. Certes, **M. de Charpentier** n'a pas vu au col des Fenêtres la fabuleuse paroi roche polie miroir ; les fines stries, les coups de gouge et la boue de glacier qui en couvrent une partie, lui eussent dit que c'est positivement un glacier qui a fait ce travail.

rendre compte de cet accident, il suffit d'appliquer aux glaciers diluviens ce que nous avons dit (C. 35) des érosions produites par les eaux qui tombent sur le lit des glaciers.

Quant aux excavations en forme de cuve qu'on observe au monticule de *Châteauneuf*, près de Sion, et au rocher voisin de la maison **Bertrand**, entre *Bex* et *Saint-Maurice*, elles ont été produites par les eaux qui, pendant la durée du glacier diluvien, se précipitaient dans quelque crevasse, laquelle devait correspondre et aboutir à la portion excavée du rocher. En effet, lorsque le lit d'un glacier présente quelque gros rocher en saillie, la glace qui le recouvre est toujours crevassée, ces crevasses restent en quelque sorte permanentes, ou, pour parler plus exactement, elles se reproduisent constamment à la même place. Quand il arrive en même temps que la surface du glacier est accidentée de telle manière que les eaux puissent atteindre en abondance les bords de l'une de ces fentes, elles s'y précipitent en formant une cascade qui, là où elle atteint le rocher, produit ces érosions en forme de cuve[1].

Hypothèses diverses sur le transport des débris erratiques.

C. 58. Le terrain erratique a attiré depuis longtemps l'attention des géologues. En effet, parmi les révolutions qui, depuis le soulèvement des Alpes, ont encore modifié la surface du globe, il n'y en a aucune qui ait laissé des traces plus étonnantes que celle qui a produit des *dépôts erratiques*. La cause qui a opéré ces surprenants transports doit avoir déployé une puissance et surtout une étendue d'action à laquelle n'atteignent pas à beaucoup près les agents dont la nature se sert aujourd'hui pour opérer des déplacements. Introduction 1841.

La quantité de fragments erratiques, le volume étonnant de beaucoup d'entre eux, la distance souvent considérable des lieux d'où ils ont été détachés, les obstacles qu'ils ont dû rencontrer sur

[1] C. La crevasse sur le glacier inférieur du Grindelwald, dans laquelle tomba et périt en 1821 **M. Mouron de Chardonne**, présente toutes les années durant la saison de la fonte des glaces, une des cascades dont nous parlons.

leur passage, l'élévation à laquelle on en trouve sur les flancs des montagnes, la bonne conservation de la surface et des parties saillantes d'un grand nombre de ces débris etc., toutes ces circonstances réunies ont occupé les géologues et vivement excité leur imagination. En effet, on a proposé plusieurs hypothèses pour expliquer ce grand et singulier phénomène ; mais il n'en est aucune qui ait obtenu l'assentiment général des naturalistes, car aucune n'a atteint son but.

Les uns supposaient que les Alpes, en sortant du sein des eaux, avaient offert *un plan incliné et uni*, sur lequel les débris avaient glissé ou roulé, comme le ferait un éboulement ou une avalanche sur une pente de montagne.

D'autres ont pensé que ce transport s'était effectué sur des *glaces flottantes* faisant l'office de radeaux.

On a imaginé des *explosions gazeuses* qui, de l'intérieur de la terre, auraient amené et projeté au loin des fragments de roches étrangères à la contrée où on les trouve dispersés.

L'hypothèse qui a réuni le plus de partisans et qui, encore aujourd'hui (1841) est admise par les plus célèbres géologues, est celle qui suppose que de *puissants courants d'eau* ont été la cause de ce transport.

Dans ces derniers temps (toujours en 1841) on a émis l'hypothèse que ces déplacements avaient été opérés par des *glaciers formés durant l'époque diluvienne.*

Enfin, tout récemment (en 1841), on a proposé une hypothèse en quelque sorte intermédiaire entre celle du plan incliné et celle des glaciers. Elle suppose une *nappe de glace* sur laquelle, au moment du soulèvement des Alpes, les débris auraient glissé jusqu'aux localités où on les rencontre aujourd'hui.

C. 59. **Plan incliné.** C. 60. Objections.

C. 61. **Radeaux de glace flottant sur une nappe d'eau.** C. 62. Objections.

C. 63. **Radeaux de glace entraînés par un courant.** C. 64. Objections.

C. 64 *bis*. **Glaçons enveloppant des débris de roches.**

C. 65. **Explosions gazeuses.** C. 66. Objections.

C. 67. **Courants d'eau.** Voy. C. 76. Objections.

C. 68. **Retraite subite de l'Océan.** C. 69. Objections.

C. 70. **Apparition du granit dans les Alpes.** C. 71. Objections.

C. 72. **Rupture des lacs.** C. 73. Objections.

C. 74. **Fonte des glaciers.** C. 75. Objections.

C. 77. **Nappe de glace.** C. 78. Objections.

Objections à toute hypothèse admettant des courants d'eau.

Introduction.

C. 76. Nous venons de faire connaître les diverses hypothèses qui admettent des courants. Nous ne les avons examinées successivement que sous le rapport de la cause à laquelle chacune attribue la masse d'eau dont elle a besoin. Maintenant nous allons faire voir qu'il n'y a pas une hypothèse basée sur des courants d'eau, quelle que soit la cause de l'origine de ceux-ci, qui puisse expliquer d'une manière satisfaisante le phénomène qui nous occupe.

Inondation de la vallée de Bagnes (Valais) en 1818.

Les défenseurs des courants allèguent toujours en faveur de leur opinion les effets de l'*inondation de la vallée de Bagnes en 1818.* Ils citent les blocs de granit [1] qui se trouvent dans une localité appelée la *Contamine*, sur le bord gauche de la *Drance*, à 1 kilomètre en amont du bourg de *Martigny*, et que l'on a cru avoir été tous amenés par la débâcle. Mais il n'y a que cinq de ces blocs qui aient été charriés par l'eau, et cela seulement dans un trajet d'environ 600 mètres. Ils se trouvaient, avant la débâcle, sur le bord du torrent au-dessous du village de *Brocard*, précisément à l'endroit où son lit, encaissé par des rochers, est le plus étroit et où par conséquent le courant avait le plus de force. L'immense quantité de bois que la débâcle poussait devant elle [2] dut singulièrement favoriser le

[1] C. Le plus gros de ces blocs, qui avait 342 mètres cubes, n'existe plus. On l'a déjà détruit en le convertissant en pierres de taille pour des constructions.

[2] C. La débâcle emporta un nombre prodigieux de chalets, de granges et de maisons (tout le village de Champsec), toutes construites en bois. Elle déracina et entraîna aussi une grande quantité de gros arbres. Cette masse de bois fut encore augmentée considérablement par les arbres et les fascines dont les habitants de la vallée s'étaient servis pour élever le long de la Drance de fortes digues, espérant, par ce moyen, mettre leurs

transport de ces blocs qui, probablement sans cette circonstanre, n'auraient pas été déplacés. Nous devons encore faire observer que les gros débris se sont arrêtés à l'instant où le lit a commencé à s'élargir; d'ailleurs le transport de ces matériaux n'a eu lieu qu'au fond du courant, et en aucune manière dans sa partie supérieure ni vers les bords, car aucun gros bloc n'a été trouvé à quelque éloignement du lit ou cours ordinaire du torrent.

Bien plus, dans les rues du bourg de *Martigny* situé à environ 3 mètres au-dessus de ce même lit et à 3 kilomètres en aval de la *Contamine*, le courant avait 3 mètres de profondeur et assez de force pour emporter nombre de maisons et de granges. Néanmoins il n'y amena que du *limon fin* et point de gros débris, pas même du sable, quoique la localité où la débâcle venait de déposer des blocs de plusieurs mètres cubes ne fût que peu éloignée.

La même chose eut lieu dans la ville de Martigny, située à 1 kilomètre au-dessous du bourg. L'eau atteignit dans les rues $3^{m},25$ de hauteur, et le dépôt qu'elle y laissa n'était non plus qu'une masse considérable de limon très-fin.

Ces faits, que l'on peut encore vérifier aujourd'hui, prouvent que les courants ne charrient de gros débris qu'au fond de leur lit et nullement à la surface. On ne saurait donc concevoir comment une débâcle quelconque aurait pu déposer sur la montagne de *Plan-y-Beuf*, dans la vallée de Ferret, à 876 mètres au-dessus du sol de la vallée, des blocs de plus de 3400 mètres cubes; et notez bien que cette vallée prend naissance au faîte des Alpes et qu'elle n'a que 20 kilomètres de longueur.

La *débâcle de Bagnes*, si souvent citée en faveur de l'hypothèse des courants, nous démontre encore qu'une masse d'eau en mouvement dépose les gros matériaux qu'elle charrie dès que son cours s'élargit. Ainsi, ayant une fois atteint la Basse-Suisse, le prétendu grand courant diluvien du Valais aurait dû déposer tout de suite les gros débris qu'il amenait, et non pas leur faire traverser toute

propriétés à l'abri de l'inondation. Mais aucune de ces constructions ne put résister à la force de l'eau. Elles furent toutes enlevées, et loin de diminuer le mal, elles ne firent que l'aggraver, en augmentant de beaucoup la masse déjà énorme de bois que l'eau poussait devant elle et à laquelle rien ne put résister.

cette plaine pour les pousser sur le flanc du Jura jusqu'à une hauteur de plus de 1000 mètres.

Nous avons dit (C. 40) qu'un des caractères qui distinguent les débris erratiques des débris du terrain diluvien, consiste dans l'absence complète d'un triage des fragments selon leur volume. Pour éluder cette difficulté, l'hypothèse prétend que la débâcle a été tellement prompte et a eu une si grande vitesse, que les matériaux qu'elle transportait n'auraient pas eu le temps d'obéir à la gravité et de se séparer suivant leurs volumes. Mais cette supposition ne peut pas être admise. On conçoit bien que différentes causes puissent produire subitement un énorme courant d'eau ; mais l'imagination n'en voit aucune qui puisse le faire cesser tout à coup. Une débâcle peut se terminer promptement, mais jamais instantanément. C'est au moment où le courant se met à diminuer, que le triage dont nous parlons, commence à s'opérer. Nous avons déjà remarqué ce fait non-seulement lors de la débâcle de Bagnes, mais dans toutes les autres grandes inondations dont nous avons été témoin.

Ainsi, dans le cas spécial qui nous occupe, le courant diluvien du Valais, que l'on suppose avoir atteint le flanc du Jura avec une force capable de transporter des blocs de plusieurs milliers de mètres cubes, aurait dû déposer les plus gros blocs à l'instant où sa vitesse se serait ralentie; avançant toujours, il aurait continué à charrier et à déposer plus loin les débris d'un volume de plus en plus petit, à mesure que sa vitesse et par conséquent sa force seraient allées en diminuant. De cette manière le terrain erratique ne devrait présenter sur sa limite que de menus débris ; mais on sait qu'il n'en est point ainsi, et qu'il se trouve sur cette limite d'aussi gros blocs que partout ailleurs.

Pour appuyer l'hypothèse des courants, on a toujours cité la circonstance que, sur le flanc du Jura, la plus grande accumulation de fragments erratiques se rencontre précisément en face de l'entrée de la vallée du Rhône. Le fait est parfaitement vrai. Mais nous ne croyons pas que l'on puisse en tirer un argument en faveur de cette hypothèse. Bien au contraire, il fournit plutôt une forte objection contre le transport des débris erratiques par une débâcle.

Lorsqu'un courant charrie des matériaux et qu'il vient frapper à

angle droit contre une digue, ce n'est certainement pas sur la place frappée que se formera le plus grand dépôt, mais à quelque distance à droite et à gauche de cette place, là où le courant a perdu sa force. Par conséquent, si la dispersion des débris erratiques avait été opérée par des courants, la plus grande accumulation de ces débris sur le Jura ne devrait pas se trouver précisément vis-à-vis de la vallée du Rhône, sur le flanc du Chasseron, mais à droite et à gauche de cette localité. Cependant on sait qu'il n'en est pas ainsi.

Les défenseurs des courants leur attribuent une vitesse suffisamment grande pour que les blocs qu'ils auraient amenés fussent arrivés au Jura sans toucher terre, et par conséquent sans frottement notable qui eût pu user leur surface et arrondir leurs parties saillantes.

Les uns portent cette vitesse à 175 pieds (56^{m},83) par seconde, d'autres à 354 pieds (115 mètres). D'après la quantité considérable de ces débris et le volume prodigieux d'un grand nombre d'entre eux, on pourrait s'attendre à trouver sur la portion du flanc du Jura qui fait face à la vallée du Rhône les traces qu'aurait dû laisser le choc de tant d'énormes blocs projetés avec une si grande vitesse, traces que le temps n'aurait certainement pas pu effacer. On devrait s'attendre encore à n'y trouver que de menus débris, parce que les gros blocs, arrivant avec une si grande rapidité et frappant avec tant de force contre les roches du Jura auraient dû être pulvérisés. Mais rien de pareil ne s'y observe[1]. Les rochers du flanc du Chasseron qui, se trouvant vis-à-vis de la vallée du Rhône, auraient reçu tous ces chocs violents, n'offrent cependant pas de marques de dégradation plus prononcées que des rochers des autres parties du Jura; et quant aux blocs mêmes, ils ne présentent non plus rien de particulier, car il s'en trouve d'aussi grands et d'aussi petits que dans les autres contrées où l'on remarque le terrain erratique.

Pour rendre compte du fait que les blocs de granit et de gneiss sont aujourd'hui plus communs sur le Jura que dans la plaine de la Basse-Suisse, accident expliqué au § C. 52, l'hypothèse que nous

[1] D. A. Ces blocs anguleux ou écornés, arrondis, polis, striés, rayés ou burinés reposent sur les surfaces du sol et ne l'ont nullement entamé (voy. G. 51. *Position singulière de plusieurs blocs erratiques*).

combattons suppose que les fragments de ces espèces de roches auraient occupé de préférence la surface du courant, si je puis m'expliquer ainsi. Elle trouve la cause par laquelle ces blocs ont pu arriver à cette partie supérieure du courant, dans l'élévation des montagnes de granit et de gneiss, qui, en effet, sont généralement plus hautes que les montagnes formées par d'autres espèces de roches. Pour les maintenir à la surface, elle suppose le courant si épais et si chargé de débris que ces blocs ne pouvaient pas s'y enfoncer.

« Mais, demande **M. Studer** (*Monographie de la molasse*, « p. 209), la consistance épaisse et boueuse de ces courants, que « l'on admet pour diminuer l'effet de la gravité des blocs de gra- « nit, comment peut-elle s'accorder avec leur énorme vitesse hori- « zontale? » (354 pieds [115 mètres] par seconde, d'après **M. de Buch**, et 175 pieds [56m,8], d'après feu **M. Escher de la Linth** père).

Nous devons relever une erreur partagée par beaucoup de personnes, erreur qui consiste dans l'opinion que de gros blocs de roche peuvent se maintenir sans s'enfoncer sur des courants boueux, et flotter en quelque sorte à leur surface. Cette erreur est due uniquement à une simple illusion. Nous avons été plusieurs fois témoin de grandes coulées de boue, chargées de beaucoup de débris[1]. Dans ces occasions, nous avons vu des blocs de plus de 3 mètres cubes se maintenir complétement sur la surface du courant. Au premier abord on aurait dit que ces blocs flottaient réellement ; mais en les examinant de près, on ne tarda pas à reconnaître qu'ils ne flottaient pas du tout, mais qu'ils étaient tous supportés par d'autres débris sur lesquels, poussés par le courant, ils cheminaient comme sur des rouleaux. En effet, dès que cet appui venait à leur manquer, ils s'enfonçaient instantanément.

Dans l'hypothèse qui nous occupe, il faudrait admettre, ou qu'avant l'arrivée des éboulements de granit et de gneiss la débâcle aurait déjà acquis une vitesse assez grande pour empêcher ces blocs d'aller au fond, ou bien qu'avant d'être atteint par ces éboulements,

[1] C. Les plus grandes coulées de boue et de débris que j'aie eu occasion d'observer, sont celles qui eurent lieu en août et septembre 1835 par suite des éboulements de rochers et de glace survenus successivement près de la sommité de la Dent-du-Midi.

le courant aurait déjà été tellement chargé de débris que ces blocs de granit n'auraient pu s'y enfoncer. Mais comme les débris erratiques se trouvent à deux mille et quelques cents pieds (700 mètres et plus) d'élévation sur les flancs des montagnes, il aurait fallu que la vallée du Rhône et toutes ses vallées latérales eussent été occupées par un courant de deux mille et quelques cents pieds de profondeur, ayant, en nombre d'endroits, de 3/4 à 1 1/2 lieue de largeur. Ce courant aurait dû être doué ou d'une vitesse assez grande pour contrebalancer l'effet de la gravité des blocs, ou d'une consistance assez épaisse pour empêcher ces énormes blocs de s'enfoncer et d'aller au fond. Il faudrait même, pour satisfaire à l'exigence des faits, qu'il eût eu déjà au fond des vallées, presque au faîte même des Alpes, cette énorme vitesse ou cette consistance extraordinaire.

Cette dernière supposition réclame une masse de matériaux qui, lorsqu'on y réfléchit, effraie l'imagination. C'est donc avec raison que **M. Studer** demande : « Qu'est devenu le reste des débris qui « auraient rempli nos vallées jusqu'à une grande hauteur, et dont « ces blocs n'auraient formé que la plus petite portion ? Le déblaie- « ment de ces matériaux par des courants arrivés postérieurement, « suppose des révolutions tout aussi formidables que la première « débâcle elle-même, et les gros blocs exposés à un frottement con- « tinuel n'auraient pu conserver leurs arêtes. »

Soit qu'on admette de l'eau peu chargée, mais douée d'une vitesse extraordinaire, soit qu'on lui attribue une consistance épaisse et par conséquent un mouvement moins rapide, l'hypothèse reste également insuffisante pour expliquer le transport des fragments erratiques. En effet, si une pareille débâcle avait eu lieu, elle n'aurait pu transporter que fort peu de débris dans la Basse-Suisse et sur le Jura; car, à son débouché dans le bassin du lac, elle aurait rencontré une barrière qu'elle n'aurait pu franchir avec tous les matériaux qu'elle amenait. Cette barrière est le plateau du Jorat. Sa partie la plus élevée, le Pèlerin, est, d'après les mesures barométriques de **M. Baup**, à 2154 pieds (699^{m},7) au-dessus du lac, et à peu près en face de la vallée du Rhône. Ce petit système de montagnes se trouve donc précisément dans la direction que le courant aurait dû suivre. Par conséquent les débris suspendus et

transportés dans le courant à une hauteur moindre que 2154 pieds (699m,7) au-dessus du sol, n'auraient pu dépasser le Jorat. Ils y auraient été retenus et auraient encombré toute la partie orientale du lac. Si le courant avait été boueux, l'encombrement aurait été encore plus considérable. Mais rien de pareil n'y est arrivé; car il n'existe dans cette contrée aucune accumulation extraordinaire de débris erratiques [1].

Si le phénomène qui nous occupe était réellement dû à des courants, nous devrions trouver des amas considérables de fragments erratiques dans le fond de la petite vallée de *Vallorbe;* car elle est sans contredit la localité la plus propre par sa situation à recevoir et à retenir les matériaux amenés des Alpes par une débâcle venant choquer contre le flanc du Jura. Il suffira de jeter un coup d'œil sur la carte pour reconnaître la vérité de cette assertion. Cependant aucun fragment erratique n'a atteint le fond de ce joli vallon (C. 53). L'hypothèse des courants n'explique pas davantage la bonne conversation d'un grand nombre de blocs, surtout des blocs de gros volume. En effet, qu'on modifie comme on le voudra et la vitesse et la consistance des courants, qu'on fasse projeter les blocs en direction horizontale sans les faire toucher terre, ou bien qu'on les fasse rouler dans la boue, on ne pourra parvenir par aucun de ces moyens à *expliquer la conservation de la surface et des parties saillantes de blocs de 60,000 pieds cubes (2056 mètres cubes), ayant fait plus de 60 lieues (360 kilomètres) de chemin.*

Il en est de même de la forme et de la situation des dépôts accumulés (C. 48). Comment, en effet, des courants auraient-ils pu former des accumulations de débris en forme de digues ou de bandes, longeant en lignes parallèles les flancs des montagnes et se trouvant placées à différents étages qui se correspondent ordi-

[1] C. Les débris erratiques de la **vallée de l'Aar** s'élèvent sur les flancs des montagnes à plus de 1680 pieds (545 mètres), car ils atteignent et dépassent même le col du **Brunig** (1025 mètres altitude, 461 mètres au-dessus du lac de Brienz). Ceux qui se trouvent dans la partie inférieure de la vallée et dans la plaine de la Basse-Suisse ont dû passer par-dessus les lacs de Brienz et de Thun, en les traversant dans toute leur longueur. L'hypothèse des courants ne saurait expliquer comment ces matériaux auraient pu franchir ces bassins sans s'y arrêter et les combler. La configuration de la vallée aurait dû favoriser singulièrement ce dépôt, parce qu'elle se coude à l'approche de chacun de ces lacs.

nairement sur les deux côtés de la vallée? Pourquoi, à l'exception des environs de Lausanne et du plateau du Jorat, ces courants n'ont-ils pas formé de dépôts de ce genre dans la plaine de la Basse-Suisse? Pourquoi les retrouve-t-on sur le flanc du Jura?

Comment une débâcle peut-elle occasionner des dépôts tantôt sans trace de stratification, tantôt distinctement et régulièrement stratifiés?

Comment surtout expliquer par des courants d'eau ces groupes étonnants de gros blocs tous d'une même espèce de roche? (C. 50). Ainsi, par exemple, comment une débâcle aurait-elle pu amener dans une même localité cette quantité considérable de blocs de granit de Ferret, qui, au-dessus de Monthey, occupent sur le flanc de la montagne une étendue de terrain de 3/4 de lieue de longueur sur 300 à 800 pieds (100 à 260 mètres) de largeur? Comment une débâcle aurait-elle pu les déposer sans les mélanger avec d'autres débris qui nécessairement devaient se trouver simultanément dans le courant? Cette même difficulté se reproduit pour le groupe de blocs calcaires des Devens et du Bois de la Chaux; pour ceux de blocs granitiques de Plan-y-Beuf, de Steinhof etc.

Voudrait-on peut-être supposer que chaque groupe fût dû à un seul bloc amené par la débâcle et brisé sur la place même où se trouvent aujourd'hui ces accumulations surprenantes? Dans ce cas, on serait forcé d'admettre que le bloc qui, en se brisant, aurait fourni des énormes fragments du groupe de Monthey, aurait eu 4 kilomètres de longueur et 100 mètres environ de largeur. Mais pousser les suppositions aussi loin, c'est les pousser au delà des limites de toute vraisemblance et même de la possibilité.

Comment pourrait-on expliquer par des courants la position singulière de plusieurs blocs erratiques perchés les uns sur les autres et se maintenant en équilibre par de biens faibles appuis? (C. 51). Comment se rendre compte des blocs fendus verticalement dans toute leur hauteur, évidemment par l'effet d'une chute?

Si l'hypothèse dont il est question peut expliquer tant bien que mal les surfaces frottées des rochers (C. 56), elle se trouve complétement en défaut lorsqu'il s'agit de rendre raison des érosions verticales produites par les chutes d'eau (C. 57).

Enfin, si nous voulions entrer dans le détail des observations

locales, nous rencontrerions à chaque pas des faits qui, sans tomber dans des invraisemblances effleurant l'absurde, restent inexplicables par l'hypothèse des courants d'eau.

Au reste, les objections que nous venons de présenter doivent suffire pour démontrer le peu de fondement de l'hypothèse que nous avons cherché à combattre. Nous sommes même convaincu que son insuffisance sera reconnue par quiconque l'examinera avec un esprit impartial, dégagé de préjugés et capable d'abandonner des opinions avec lesquelles il s'est familiarisé plutôt par *habitude* que par *réflexion*.

C. 85. **Conclusion.**

1° Le mode de formation, de conservation, de développement et de mouvement des glaciers actuels, ainsi que l'influence qu'ils exercent sur la configuration du sol, ne présente rien de contraire à la supposition des glaciers diluviens.

2° L'état climatérique et météorique qui a donné lieu à la formation des anciens glaciers monstres, a été le résultat, la suite, la conséquence directe et inévitable du dernier grand cataclysme qui a accidenté la surface de l'hémisphère boréale depuis le vingt-deuxième degré jusqu'aux hautes latitudes du nord, et donné aux Alpes leur relief actuel.

3° L'hypothèse des glaciers diluviens est la seule qui explique d'une manière satisfaisante jusque dans leurs moindres détails tous les phénomènes du terrain erratique.

4° L'existence de ces glaciers et les effets qu'ils ont produits ne peuvent plus être mis dans la catégorie des hypothèses ; ils constituent un fait privé et positif, et aussi incontestable que le redressement des couches opérées par les soulèvements.

5° Le terrain erratique est un terrain détritique déposé par les glaciers[1].

[1] C. Le terrain diluvien proprement dit est également un terrain détritique, mais produit par des eaux qui, du moins en Suisse, ont eu leur principale source dans la fonte de ces mêmes glaciers.

MATÉRIAUX

POUR

L'ÉTUDE DES GLACIERS.

PHÉNOMÈNES ERRATIQUES DANS LES ALPES.

§[1]. De l'origine des cailloux roulés et des fragments de roches que l'on trouve dispersés dans les vallées du lac de Genève, sur les montagnes adjacentes et ailleurs.

S. 203. Personne n'ignore que l'on nomme **galets** ou **cailloux roulés** des pierres de forme arrondie ou dont au moins les angles sont émoussés, qui se trouvent ordinairement dans le lit des rivières et dans les plaines voisines, surtout auprès des montagnes où ces rivières ont leur source. Le nom que l'on donne à ces cailloux vient sans doute de ce que l'on a présumé qu'ils avaient été roulés et arrondis par les eaux.

Ce qu'on entend par cailloux roulés.

S. 1943. Si en décrivant les *cailloux roulés* qui se rencontrent dans tel ou tel canton de la surface de notre globe, on ne se proposait d'autre vue que d'avertir les amateurs qu'ils trouveront ici un tel fossile, là un tel autre, cette vue pourrait paraître bornée et peu digne de la place que ces descriptions occupent dans des ouvrages tels que celui-ci. Et il faudrait, en effet, se restreindre à cette vue, si l'on croyait encore que les cailloux roulés sont, comme les truffes, le produit de la terre qui les porte. Mais nous avons vu que dans les vallées étroites, situées entre de hautes montagnes, ces cailloux sont originaires de ces mêmes montagnes, et que dans les

But de l'étude des cailloux roulés.

[1] D. A. Les paragraphes S (de Saussure) sont extraits des *Voyages dans les Alpes*, par **M. B. de Saussure.** Neuchâtel, chez Louis Fauche-Borel, 4 vol. in-4, 1803.
Les paragraphes portent les mêmes chiffres que ceux de l'ouvrage.

pierre ollaire, qui sont la matière de la plupart des cailloux roulés vus dans leur lieu natal, ne se présentent point sous une forme arrondie, mais sous celle de *bancs*, de *veines*, de *filons*, qui n'ont rien de semblable à la figure que prennent ces cailloux lorsqu'ils ont été *arrondis par les eaux*.

On voit les eaux arrondir des pierres angulaires.

S. 205. Le naturaliste qui voyage sur les hautes montagnes où les rivières ont leur source, voit des pierres *naturellement anguleuses* perdre leurs angles, presque sous ses yeux, s'arrondir et se changer en *cailloux roulés*.

A la source des torrents qui sortent des glaciers et dans le lit des torrents, les pierres ont toutes des formes arrondies ; sur les glaciers et sur les rives, les roches ont des angles vifs et des arêtes tranchantes.

Mais c'est surtout à l'*extrémité des grands glaciers*, d'où sortent avec impétuosité des torrents violents dès leur naissance, que j'ai fait avec un grand plaisir cette belle observation ; à la source de l'*Aar*, par exemple, à celle du *Rhône*, à celle de l'*Arvéron* etc. Comme ces rivières sortent des glaces à des hauteurs où il n'a pas passé d'autres courants, toutes les pierres qui ne sont pas dans leur lit ont la *forme angulaire qui leur est naturelle*. Ainsi sur le glacier duquel sort le torrent et sur les flancs des montagnes qui le bordent, on ne voit pas une seule pierre qui n'ait des **angles vifs** et des **arêtes tranchantes**. Mais dans le lit de la rivière, ces mêmes pierres ont toutes leurs angles **émoussés**, des **formes arrondies** ; ce sont de vrais **cailloux roulés**.

Au bord de la mer.

Les vagues ont aussi le pouvoir de donner aux pierres une *forme arrondie*, et on en voit la démonstration quand on trouve aux bords des grands lacs, et mieux encore aux bords de la mer, des rochers dont les fragments sont naturellement **angulaires** ; on voit ceux de ces fragments qui ont été exposés aux roulis des flots, **émoussés** et **arrondis**, tandis que ceux qui sont demeurés hors de l'eau, ont conservé leurs **angles naturels**.

Les masses de laves à arêtes vives exposées aux vagues de la mer, sont arrondies dans l'espace de deux années.

C'est ainsi que j'ai vu de grands **blocs de la lave dure et anguleux** de l'*Etna*, *parfaitement arrondis par le choc des vagues* et réduits, même en peu d'années, à la moitié de leur volume. Le **prince de Biscaris**, qui mérite d'être connu et honoré partout, comme il l'est en Sicile par la noblesse de son caractère, son hospitalité, son goût éclairé pour les antiquités, pour l'histoire naturelle et pour les arts, et par les ouvrages comparables à ceux des Romains qu'il a construits à ses dépens pour l'embellissement et pour l'utilité de Catane, sa patrie, a entrepris de reconquérir sur

les laves de l'*Etna* de beaux jardins à la porte de la ville, qui avaient été engloutis par ces laves dans l'éruption de 1696. Depuis cette éruption, cette même place, au lieu des orangers, des citronniers, des fleurs et des fruits dont elle était ornée, ne présentait plus que le hideux spectacle de rochers noirs et stériles, triste monument du ravage que fit cette éruption terrible. Le prince, avec une dépense royale, a commencé à mettre de niveau la surface raboteuse de ces *montagnes de lave;* il a couvert cette surface de terre végétale et il y a fait des plantations de la plus grande espérance. On a jeté dans la mer qui baigne le pied de ces nouveaux jardins les masses de lave qu'il a fallu faire sauter. Quelques-unes de ces masses, lorsque je les vis en 1772, étaient depuis deux ans exposées à l'action des vagues et déjà elles étaient toutes *arrondies*, comme si on les eût taillées au ciseau.

S. 206. Mais pour nous rapprocher de *Genève*, si l'on examine avec attention la nature et la position des **cailloux roulés** et des *fragments de rochers* qui se rencontrent dans la vallée de notre lac et sur les montagnes voisines, on se persuadera bientôt qu'ils ont été *charriés et arrondis par les eaux*, et qu'il est hors de toute vraisemblance qu'ils aient pu être formés dans les lieux mêmes où on les trouve.

Ceux de nos environs ont été charriés et arrondis par les eaux.

Genève.

On verra que le plus grand nombre de ces cailloux et de ces rochers est de **granit**, de **roche feuilletée** ou d'autres **pierres alpines** et **primitives**, tandis que le fond sur lequel ils ont été déposés est de **pierre calcaire** ou de **grès**, et par conséquent d'une nature absolument différente. On observera que ces cailloux et ces grands fragments ne se rencontrent jamais qu'à la surface des bancs de **pierre calcaire** ou de **grès**, et que ces mêmes bancs n'en contiennent pas la moindre parcelle dans leur intérieur ; qu'au contraire, si l'on compare chacune de ces pierres avec celles dont il se trouve des montagnes dans les Alpes, on les reconnaît au point de pouvoir presque assigner le rocher dont elles ont été détachées. On remarquera qu'elles n'ont aucune adhérence avec le sol sur lequel elles sont jetées; aucune ressemblance avec la terre qui les entoure ; que le même sol en porte de qualités totalement différentes, et qu'enfin on n'en trouve point sur le revers du *Jura*, mais seulement sur celles de ses faces qui regardent les Alpes. Après

On trouve qu'ils sont étrangers à notre sol, arrachés des Alpes, leur lieu natal, par un agent puissant qui les a transportés, arrondis et entassés confusément.

avoir pesé ces considérations, on ne pourra pas s'empêcher de reconnaître que ces fragments n'ont point été formés dans notre vallée ni sur les montagnes qui la bordent, mais que ce sont des corps étrangers, adventifs, **arrachés des Alpes, leur lieu natal, par un agent puissant qui les a transportés, arrondis et entassés confusément.**

Il faut que ce soit les eaux qui les ont charriés

S. 207. Que l'eau soit cet agent, c'est ce dont on ne peut non plus douter en aucune manière, parce que ces cailloux, grands et petits, se trouvent déposés par bancs horizontaux, mélangés de sable et de gravier, tels que les eaux les charrient; car si l'on voit quelqu'un de ces fragments à nu sur un rocher, l'inspection seule du lieu démontre clairement que les eaux des pluies ou des neiges fondues ont entraîné les parties les plus légères qui entouraient autrefois ces grandes masses.

Le feu est le seul agent qui pût disputer à l'eau le transport de ces pierres; mais a-t-on vu quelque exemple d'une explosion qui ait lancé à 12 ou 15 lieues des blocs du volume de plusieurs toises cubes, tels que nous en trouvons fréquemment dans nos environs? Si l'on voulait admettre cette hypothèse, il faudrait, pour expliquer de si grands effets, supposer des feux d'une étendue et d'une violence extrême; or de tels feux auraient fondu ou calciné ces rochers, ou du moins auraient lancé avec eux des laves ou des matières vitrifiées; mais on ne trouve ni sur ces blocs, ni dans les matières qui les entourent, aucune trace de l'action du feu; et au contraire, le sable et le gravier qui les accompagnent sont des vestiges indubitables du passage des eaux.

Les eaux en ont transporté jusque sur les montagnes.

S. 208. Ce ne sont pas seulement les bords du lac et le pied des montagnes voisines qui sont couvertes de **cailloux** et de **grands fragments de roches primitives**; on en trouve de semblables, dispersés sur le *Mont-Salève* et sur les pentes du *Jura* qui regardent les Alpes jusqu'à la hauteur de 300 ou 400 toises (585 à 780 mètres) au-dessus du niveau du lac.

Il faut donc que les eaux se soient élevées jusqu'à cette hauteur.

Question sur l'origine de ces eaux.

S. 209. Mais, dira-t-on, quelle fut l'origine de ces eaux? Qu'est-ce qui leur donna une impulsion si violente? Comment ces masses de rochers ont-elles pu être transportées sur des hauteurs que de larges et profondes vallées séparent des Alpes primitives?

Il faudrait, pour répondre à ces grandes questions, entrer dans des discussions fort étendues, dont ce n'est point ici la place. Cependant, pour ne pas laisser imparfaite cette partie de l'histoire naturelle des environs de *Genève*, et pour satisfaire l'impatience de la nombreuse classe de lecteurs qui aiment à connaître les résultats sans se soucier beaucoup des discussions, je dirai, en peu de mots, ce qui me paraît être le plus vraisemblable.

Hypothèse en réponse à cette question.

S. 210. Les eaux de l'*Océan*, dans lequel nos montagnes ont été formées, couvraient encore une partie de ces montagnes, lorsqu'une violente secousse du globe ouvrit tout à coup de grandes cavités qui étaient vides auparavant, et causa la rupture d'un grand nombre de rochers.

Les eaux se portèrent vers ces abîmes avec une violence extrême, proportionnée à la hauteur qu'elles avaient alors, *creusèrent de profondes vallées* et entraînèrent des quantités immenses de terres, de sables et de fragments de toutes sortes de rochers. Ces amas à demi-liquides, chassés par le poids des eaux, s'accumulèrent jusqu'à la hauteur où nous voyons encore plusieurs de ces fragments épars.

Ensuite les eaux qui continuèrent de couler, mais avec une vitesse qui diminuait graduellement, à proportion de la diminution de leur hauteur, entraînèrent peu à peu les parties les plus légères et purgèrent les vallées de ces *amas de boue et de débris*, en ne laissant en arrière que les masses les plus lourdes et celles que leur position ou une assiette plus solide dérobait à leur action.

Preuves de cette hypothèse.

S. 211. Une observation qui donne bien de la force à cette hypothèse et qui prouve du moins que les fragments de rochers, parsemés sur nos montagnes, y sont venus par les *grandes vallées des Alpes*, c'est que ces fragments ne se trouvent nulle part en plus grande abondance et à une plus grande hauteur que vis-à-vis de ces grandes vallées. Les parties du *Jura* qui en sont le plus chargées, correspondent directement à la vallée du *Rhône*. J'en ai vu des amas prodigieux au-dessus de *Bonvillars*, de *Grandson*, de la *Sarra*, qui sont au nord-ouest et au nord-nord-ouest de l'embouchure de cette vallée, dont la dernière direction, de *Martigny* à *Villeneuve*, est exactement du sud-sud-est au nord-nord-ouest. Au contraire, les parties plus méridionales du *Jura*, au-dessus de *Nyon*, de *Bonmont*, de *Thoiry*, de *Collonge*, n'en présentent point

à des hauteurs un peu considérables, parce que la lisière extérieure des Alpes, au-dessus de *Saint-Gingouph*, de *Meillerie*, d'*Évian*, toujours élevée et non interrompue, n'a laissé aucun passage aux fragments qui auraient pu venir de l'intérieur de cette grande chaîne.

De même, la montagne de *Salève*, située en face de la vallée par laquelle l'*Arve* sort des Alpes et qui n'est séparée de cette vallée par aucune élévation, est parsemée de ces fragments, en très-grand nombre et à une très-grande hauteur, et c'est elle qui en a aussi retenu une partie et qui, en rompant l'effort du courant, a empêché que ces grands blocs ne fussent transportés sur les hauteurs correspondantes du Jura.

Ceux que l'on trouve sur le côteau de *Montoux* et sur le pied méridional des *Voirons*, sont venus par la vallée de *Saint-Joire*, située au nord-est du *Môle*. Mais la partie septentrionale des *Voirons* n'en présente aucun à une hauteur un peu considérable, parce que la lisière extérieure des *Alpes* n'est ouverte derrière cette partie de la montagne par aucune échancrure par laquelle ces fragments aient pu en sortir.

Observation qui confirme ces preuves.

S. 212. Ce qui achève de confirmer cette explication, c'est que l'on ne trouve point de ces grands blocs dans les vallées du *Jura* situées derrière la haute lisière qui borde cette montagne du côté des Alpes, par exemple dans les vallées du *comté de Neuchâtel* et dans celles de la *Franche-Comté*. Mais dans toutes les brêches de cette lisière, partout où des gorges profondes ont ouvert une entrée aux courants qui venaient des *Alpes*, on en voit des amas considérables. Ainsi, quand on vient de *Pontarlier* à la *Sarra*, on voyage dans des vallées bordées à l'est par une haute chaîne du *Jura*, qui cache les Alpes au voyageur et dans lesquelles il ne voit aucun bloc de roche primitive. Mais quand on arrive à *Balaigre*, le premier village du canton de Berne, on trouve d'abord des fragments et bientôt des **blocs de granit** et de **roches feuilletées**, et en même temps on découvre au travers d'une vallée ouverte à l'est les hautes cimes neigées des Alpes. On voit ainsi la source de ces pierres au travers de l'ouverture par laquelle elles sont entrées.

De même, en traversant le *Jura* sur la route de *Bâle* à *Soleure*, on ne rencontre des fragments de **roches primitives** qu'après

avoir passé la montagne au haut de laquelle est situé le village de *Langenbruck*. On entre alors dans les vallées ouvertes du côté des *Alpes* et l'on comprend clairement que la montagne de *Langenbruck* rompit l'effort des courants qui charrièrent ces fragments jusqu'à son pied et qu'elle les empêcha de pénétrer plus avant.

Autres indices de l'ancienne élévation des eaux.

S. 213. Je ne crois donc pas que les eaux qui remplissaient le bassin de nos montagnes aient été dans l'état d'un lac ou d'une étendue tranquille, lorsque les torrents des Alpes transportaient si haut et si loin de grands débris de rochers ; mais il paraît pourtant probable que notre lac a été anciennement plus élevé qu'il ne l'est aujourd'hui.

Diverses considérations, et surtout celle de l'issue par laquelle le Rhône sort du bassin de nos montagnes, concourent à prouver cette vérité.

Le passage de l'Écluse.

Cette issue est une échancrure profonde et étroite creusée par la nature entre la montagne du *Vouache* et l'extrémité du *Mont-Jura*. Ce passage se nomme l'*Écluse*, dénomination qui représente très-bien une issue ouverte aux eaux, entre de hautes montagnes. L'extrémité du *Jura* ne laisse entre elle et le lit du *Rhône* qu'un chemin très-étroit : le *fort de l'Écluse*[1] est bâti sur ce défilé. **César**, dans ses *Commentaires*, a décrit ce passage avec sa précision ordinaire : *Iter angustum et difficile inter montem Juram et flumen Rhodanum, vix qua singuli carri ducerentur ; mons autem altissimus impendebat, ut facile perpauci prohibere possent* (*De bello Gallico*, lib. I, cap. VI).

Cette issue est la seule par laquelle le *Rhône* puisse sortir du sein de nos montagnes ; si elle se fermait, nos plus hautes collines seraient submergées et toute notre vallée ne formerait qu'un immense réservoir qui ne pourrait se décharger qu'en se versant par-dessus le *Mont-de-Sion*.

Recherches sur l'origine de cette ouverture (l'Écluse).

J'ai désiré de reconnaître l'origine de cette ouverture si intéressante pour nous ; dans cette vue je l'ai observée avec beaucoup d'attention. Mes observations, comme on le comprend bien, n'ont abouti qu'à des conjectures. Il paraît cependant probable que ce passage était originairement fermé ou que du moins il s'en fallait

[1] D. A. Fort-de-l'Écluse 98m,7 au-dessus du lit du Rhône, 28m,7 au-dessus du niveau du lac de Genève.

beaucoup qu'il fût creusé aussi profondément qu'il l'est aujourd'hui.

Le Vouache et le Jura ont été anciennement unis.

La montagne du *Vouache* paraît être une continuation de la première ligne du *Jura;* cette première ligne, dont la direction générale est du nord-est au sud-ouest, change de position en approchant de l'*Écluse;* là elle marche vers le midi, et cette direction est aussi celle du Vouache. Les couches du *Jura* à cette extrémité sont presque perpendiculaires à l'horizon ; elles ne s'écartent, pour la plupart, que de 15 degrés de la ligne verticale, et cette pente est dirigée en descendant vers l'est. On voit cette situation des bancs du Jura, vers le haut de la montagne, au-dessus du *Fort;* car plus bas, vers le *Fort* même, on ne distingue pas si clairement leur forme. On reconnaît aussi cette position des couches dans la pente qui descend depuis le *Fort* jusqu'au bord du *Rhône* et plus distinctement encore derrière la petite chapelle que l'on rencontre à 200 ou 300 pas du *Fort*, du côté de *Genève*. Les couches du *Vouache* ont exactement la même situation, on les voit couper transversalement le cours du *Rhône*, un peu au-dessus du *Fort-de-l'Écluse*; leurs plans sont comme ceux des couches du *Jura*, presque perpendiculaires à l'horizon, et elles s'écartent, comme celles du *Jura*, environ de 15 degrés de la ligne verticale, pour descendre aussi du côté du Levant.

La position de ces couches est si remarquable, elle est si singulièrement et si précisément déterminée, qu'elle prouve, à mon gré, autant qu'une chose de ce genre puisse se prouver, que le *Vouache* et le *Jura* étaient anciennement unis, ne formaient qu'une seule et même montagne et ne laissaient par conséquent aucun passage aux eaux renfermées dans notre bassin.

L'érosion des eaux les a séparés.

Mais comment cette ouverture s'est-elle formée ? Une secousse de tremblement de terre est une explication commode, mais c'est presque le *Deus ex machina ;* il ne faut l'employer que lorsqu'on en voit des indices indubitables ou lorsqu'il ne reste aucune autre explication. Ici nous pouvons, je crois, nous en passer ; il suffit que le haut de la montagne ait été un peu plus abaissé dans cet endroit, qu'elle ait formé là une espèce de gorge, les eaux auront pris cette route et auront peu à peu rongé et excavé leur lit jusqu'au point où nous le voyons.

Vestiges de ces érosions.

J'ai cherché les traces de ces érosions, j'ai cotoyé le lit du *Rhône* en descendant, depuis l'endroit où il commence à serrer de près les rochers du *Jura*, jusqu'au-dessous du *Fort*. J'ai vu avec plaisir les *larges et profonds sillons qu'il a gravés sur ces rochers calcaires*. On trouve sur un rocher au-dessus du *Rhône*, entre *Colouge* et le *Fort-de-l'Écluse*, une ancienne masure que les gens du pays nomment le *château de la Folie*. Le Rhône mouille le pied du rocher qui sert de base à cette masure, et c'est là surtout que l'on peut observer quelques traces d'une partie de la hauteur à laquelle le *Rhône* s'est anciennement élevé. La plus remarquable de ces traces est un *sillon creusé dans le roc, à peu près horizontalement*. Ce sillon a 4 ou 5 pieds de hauteur et forme dans le roc une excavation profonde au moins de 2 pieds ; ses bords et tous ses contours *sont arrondis*, comme le sont toujours les excavations produites par les eaux. Il est situé à plus de 20 pieds ($6^m,5$) au-dessus du point où s'élève aujourd'hui le *Rhône* dans le temps de ses plus hautes eaux.

J'espérais qu'en remontant directement des bords du *Rhône* au *Fort-de-l'Écluse*, je verrais sur des rochers plus élevés de semblables traces de l'érosion des eaux ; j'ai bien vu en effet que tous ces rochers sont *émoussés et arrondis*, qu'ils montrent même quelques *excavations horizontales* que l'on pourrait regarder comme des *sillons creusés* par les eaux, mais je n'ai pourtant rien trouvé qui fût absolument décidé et démonstratif. Sur le *Vouache*, à l'opposite du *Fort*, on ne voit pas non plus de *sillons* bien marqués, mais cependant on y remarque de *grandes échancrures*, dont la concavité regarde le lit du *Rhône* et qui sont peut-être d'anciens vestiges de ses érosions.

Ces vestiges ne peuvent se conserver que sur des faces verticales.

Au reste, lors même qu'il serait certain que le passage de l'Écluse a été formé par l'action des eaux, il faudrait plutôt s'étonner de trouver des traces de cette action que de n'en trouver pas. Les injures de l'air, les pluies, les ruisseaux qu'elles forment doivent, dans l'espace de tant de siècles, effacer peu à peu ces vestiges ; ils ne peuvent subsister que sur des rochers très-durs et taillés à pic, comme celui du *château de la Folie* et d'autres que nous verrons dans la suite. De tels rochers, et plus encore ceux qui sont en surplomb, sont beaucoup mieux à l'abri des accidents dont nous venons

de parler. Or les rochers du *Jura*, sous le *Fort-de-l'Écluse* et la plus grande partie de ceux du *Vouache*, descendent vers le *Rhône* par une pente rapide à la vérité, mais pourtant fort éloignée d'être verticale[1].

Cailloux roulés au delà de l'Écluse.

S. 214. Quoique l'ouverture de l'*Écluse* ne me paraisse pas aussi ancienne que les montagnes qu'elle sépare, je crois pourtant qu'il y avait déjà là un abaissement lors de la débâcle qui a charrié dans nos vallées les fragments des rochers des Alpes. On a vu que le mont *Jura* a servi de barrière à ces fragments, partout où il s'élève à une hauteur un peu considérable; or on en trouve au delà du *Fort-de-l'Écluse*, par exemple auprès du bureau de *Longearet*. La montagne qui porte le nom de *Credo*, a des hauteurs du côté du nord, qui font partie de l'extrémité du *Jura;* ces hauteurs sont, comme le reste du *Jura*, de *nature calcaire*. Mais le pied de ce même *Credo*, qui vient descendre jusque dans le lit du *Rhône*, est composé de *grès*, de *sable* et *d'argile;* les couches de ces différentes matières sont chargées d'une quantité de *cailloux roulés* de différents genres, parmi lesquels il se trouve un grand nombre de *pierres alpines*. Ces pierres ne peuvent être venues là que par l'ouverture de l'*Écluse*, en face de laquelle ce pied de montagne est situé. Il faut donc qu'au moins une partie de l'échancrure qui sé-

[1] S. J'ai saisi l'occasion de ces recherches pour mesurer avec le baromètre la pente du Rhône, depuis Genève jusqu'à son passage sous le Fort-de-l'Écluse. Le 27 février 1778, le baromètre placé à 4 pieds au-dessus du niveau du Rhône, se soutenait à 27 pouces, 1 ligne 5/16; il était dans le même moment à Genève, à 72 pieds au-dessus du niveau du Rhône, à 26,9,7. Le thermomètre commun exposé en plein air, au bord du Rhône, se soutenait à 3 degrés, et le même thermomètre était à Genève à 2 1/2; il résulte de là, que de Genève à l'Écluse, le Rhône en hiver descend de 224 pieds (72^{m},7). Comme le fleuve est sous le *Fort-de-l'Écluse* resserré dans un canal étroit, ses eaux s'élèvent en été beaucoup plus qu'elles ne le font à Genève. Nous avons vu qu'à Genève la différence de l'été à l'hiver n'excède pas communément 5 à 6 pieds (1^{m},6 à 1^{m},9; S. 13); là elle va à 15 ou 16 pieds (4^{m},8 à 5^{m},1), et par conséquent la pente du *Rhône*, de *Genève* à l'*Écluse*, est d'environ 10 pieds (3^{m},2) moins grande en été qu'en hiver.

Après avoir observé le baromètre au bord du *Rhône*, je montai droit au *Fort* et je l'observai au niveau du sol de l'entrée du côté de *Genève;* je trouvai précisément 4 lignes de différence; la hauteur corrigée était au bas, comme nous venons de le voir, 27,1,5; elle était en haut 26,9,5; le thermomètre commun était au bord du Rhône à + 3, et au fort à + 1 1/3, ce qui donne une élévation de 304 pieds (98^{m},7) depuis le lit du Rhône en hiver jusqu'au sol du *Fort*. Cette même observation donne 73 pieds (23^{m},7) pour la hauteur du même sol au-dessus du niveau du lac en été.

pare le *Vouache* du *Jura* ait été très-ancienne. On pourrait cependant supposer que ces cailloux ont passé par-dessus le *Vouache*, qui ne s'élève nulle part à la hauteur de 400 toises (779m,6), hauteur à laquelle j'ai trouvé de *grands blocs de rochers des Alpes* (S. 208).

Les eaux n'ont pas transporté des fragments de ce genre beaucoup au delà du *Credo;* ils auront été retenus par la montagne de *Michaille*, car on n'en trouve que très-rarement et de très-petits au delà de cette montagne. Ceux du *Credo* sont déjà beaucoup moins considérables que ceux que l'on voit dans nos plaines. En continuant cette route, on ne commence à les retrouver communs que dans les plaines du *Lyonnais*, et même ceux que l'on trouve dans ces plaines, sur la rive droite du *Rhône*, sont peu volumineux et ont été charriés par ce fleuve, ou sont descendus des *Alpes du Dauphiné*.

Précis des révolutions exposées dans ce chapitre.

S. 215. Tous les faits dont je viens de présenter une esquisse m'ont donc persuadé que, dans un temps bien antérieur à toutes les époques historiques, la mer couvrait nos montagnes à une hauteur considérable, qu'il se fit alors une violente débâcle de ces eaux, qui entraîna dans notre vallée des *fragments de montagnes* très-éloignées, que cette même vallée fut alors le lit d'un courant profond et rapide qui la remplissait en entier et qui se dégorgeait par-dessus le mont de *Sion*, le *Vouache* et par une échancrure située entre le *Jura* et cette dernière montagne; que cette échancrure s'approfondit peu à peu, et enfin les eaux ayant graduellement diminué, le courant n'occupa plus que le fond de la vallée.

A mesure que ces eaux s'abaissaient, les collines élevaient leurs têtes au-dessus d'elles; celle dont *Genève* occupe aujourd'hui le faîte fut longtemps une presqu'île, entourée d'eau de toutes parts, excepté du côté de *Champel;* mais le courant des eaux continuant de creuser son lit, sépara la colline de *Genève* de celle de *Saint-Jean*, et le lac se resserra dans ses limites actuelles.

Vestiges de ces derniers changements.

S. 216. Ces derniers changements ont laissé des traces encore visibles; on ne peut pas révoquer en doute que le *Plainpalais* et ses *jardins*, les plaines au-dessous de *Lancy*, celle de *Carouge*, le *Pré-l'Évêque* n'aient été anciennement couverts par les eaux et ne se soient élevés par l'accumulation de leurs sédiments; le niveau de leur surface, les lits horizontaux de sable et de gravier dont ces terrains sont formés, en sont des témoins irrécusables.

Carouge.

On voit de même le long du lac, des plaines exactement horizontales couvertes de *graviers* et de *cailloux roulés* qui aboutissent à des collines escarpées, dont la base paraît rongée par les eaux, comme sous *Prégny*, à *Rolle*, à *Dovence*, entre *Allaman* et *Morges* et dans un grand nombre d'autres places.

Monuments historiques de l'abaissement du lac de Genève.

S. 217. Enfin l'histoire civile vient ici à l'appui de l'histoire naturelle : divers monuments concourent à prouver que les eaux du lac couvraient, il y a 1200 ou 1300 ans, tout le bas de la ville de *Genève*, que ces eaux se sont retirées par gradations et que les maisons du quartier de *Rive* et des *Rues-basses* n'ont été bâties que depuis leur retraite[1].

Diminution générale des eaux.

S. 218. Mais cet abaissement de la surface des eaux du lac n'est pas seulement l'effet de l'excavation du canal qui le décharge ; il a été aussi produit par une diminution de la quantité des eaux qui s'y jettent, diminution que bien des considérations tendent à faire croire continuelle et universelle sur toute la surface du globe, comme je l'exposerai plus au long dans les résultats.

Recherches de preuves encore plus directes.

S. 219. L'explication que j'ai donnée dans ce chapitre de l'origine des *cailloux roulés* et des *blocs de roches primitives*, qui se trouvent dispersés dans nos environs, me paraît suffisamment démontrée pour les naturalistes. **Ils savent bien que les granits ne se forment pas dans la terre comme des truffes et ne croissent pas comme des sapins sur les rochers calcaires** ; et s'ils ont, comme cela est bien possible, des idées différentes des miennes sur la cause du mouvement des eaux qui les ont charriés chez nous, du moins y en aura-t-il peu qui ne croient que c'est une grande débâcle ou un courant d'une violence et d'une étendue considérables qui les a transportés et déposés dans leurs places actuelles.

Mais ceux pour qui nos principes sur la formation des pierres ne sont pas des axiomes et qui, n'ayant pas l'habitude d'observer en grand les opérations de la nature, ne se sont pas familiarisés avec les idées de révolutions et de catastrophes aussi étendues, demeureront peut-être encore dans ce doute.

J'ai donc cherché, et pour les convaincre et pour me satisfaire plus pleinement moi-même, quelques preuves d'un genre différent.

[1] S. Le public attend avec impatience les fruits des savantes et laborieuses recherches de **M. Senebier**, bibliothécaire de notre ville, sur les antiquités naturelles et littéraires de Genève et de ses environs. C'est d'après les notes qu'il m'a communiquées que j'ai cru pouvoir assurer que le lac s'est abaissé sensiblement depuis huit ou dix siècles.

Je me suis dit : les faits que j'ai rapprochés me persuadent bien qu'il a anciennement existé un courant très-rapide qui remplissait autrefois toute la vallée dont notre lac occupe aujourd'hui le fond ; on voit partout les effets de ce courant, mais *pourtant je n'aperçois pas ses traces proprement dites ;* je trouve bien sous mes pas des matériaux qui ont été charriés ; mais il faudrait, **pour une conviction parfaite, découvrir les ornières du char qui les a transportés.**

Alors j'ai pensé que ces *ornières* pourraient avoir été imprimées par les eaux sur les flancs escarpés des montagnes, entre lesquelles ce courant a été resserré. J'ai donc entrepris d'observer, sous ce point de vue, les flancs de ces montagnes.

Le Mont-Salève.

S. 220. Le *Mont-Salève* est de toutes les montagnes de nos environs celle qui se présente le mieux pour l'observation dont je viens de parler. Il est situé en *Savoie,* à une lieue au midi de Genève ; sa forme est très-allongée dans la direction du nord-nord-est au sud-sud-ouest, et c'est à peu près la direction qu'a dû avoir le courant dont nous nous occupons. Cette montagne présente du côté de *Genève* de grandes assises, à peu près horizontales, de rochers nus et escarpés, d'une *pierre calcaire blanche*, sur laquelle les injures de l'air ne font que peu d'impression. Ces rochers ont dû former une des parois du grand canal dans lequel coulait ce courant ; ils ont dû par conséquent être *rongés et sillonnés,* à peu près horizontalement, dans la direction de ce même courant, et les parties les plus saillantes *ont dû être exposées* aux érosions (*frottements*) les plus considérables.

Ses flancs escarpés ont été sillonnés par les eaux. Mont-Salève.

S. 221. Les faits ont pleinement répondu à ces conjectures. J'ai fait sur ce sujet les observations les plus claires et les plus satisfaisantes. Les tranches *nues* et *escarpées* des grandes couches du *petit* et surtout du *grand Salève* présentent presque partout les *traces les plus marquées* du passage des eaux qui les ont *rongées et excavées.* On voit sur ces rochers des *sillons* à peu près horizontaux, plus ou moins *larges et profonds ;* il y en a de 4 à 5 pieds ($2^m,9$) de largeur et d'une longueur double ou triple, sur 1 ou 2 pieds de profondeur. Tous ces *sillons* ont leurs bords terminés par des *courbures arrondies*, telles que les eaux ont coutume de les tracer. Je dis qu'ils sont à peu près horizontaux, parce qu'ils sont parfois inclinés de quelques degrés, en descendant vers le sud-sud-ouest, suivant la pente qu'a

dû avoir le courant. De tels *sillons* ne sauraient avoir été tracés par les eaux des pluies, car celles-ci forment des excavations ou perpendiculaires à l'horizon, ou dirigées suivant la plus grande inclinaison des faces des rochers, au lieu que celles-là sont tracées presque horizontalement sur des faces tout à fait verticales. ***Ces sillons sont donc ce que je cherchais, les traces ou les ornières*** du courant qui a charrié dans nos vallées les débris des rochers des Alpes.

Cavités arrondies produites aussi par les anciens courants.

S. 222. On voit aussi à la surface de ces mêmes rochers des *cavités arrondies* de plusieurs pieds de diamètre et de 2 ou 3 pieds de profondeur, dont l'ouverture regarde le nord-nord-est et qui paraissent par conséquent avoir été creusées par des filets du courant qui se jetaient directement et avec impétuosité contre ces parties plus saillantes et plus exposées; ces cavités ont leurs fonds et leurs bords *arrondis*, et comme leurs ouvertures se trouvent placées sur la face verticale de rochers escarpés, on ne peut pas supposer qu'elles aient été formées par la chute des eaux de la montagne.

Désignation des places où ces vestiges sont le plus visibles.

S. 223. On peut observer ces *excavations* sur presque toutes les faces des grands rochers du *Mont-Salève*, du moins jusqu'à la moitié ou aux deux tiers de sa hauteur, mais on les distingue avec une évidence particulière sur les rochers qui dominent le bas de l'échelle, sur ceux qui sont au-dessus des couches perpendiculaires, entre *Véiry* et *Crevin*, sur les couches épaisses qui dominent les grottes de l'*Hermitage*, sur celles qui sont au-dessus du *Coin* etc.

Excavations diversement dirigées et même en sens contraire du courant.

S. 224. Je ne dois pas dissimuler qu'entre ces *excavations arrondies*, que je regarde comme l'ouvrage des eaux, on en rencontre quelques-unes qui sont *creusées en sens contraire du courant*, que je suppose avoir descendu notre vallée et qui pourraient faire naître des doutes sur la cause que je leur attribue. Mais ces doutes s'évanouiront si l'on considère que sur les bords de tous les grands courants, tant de la mer que des rivières, il se forme des remous dont la direction est contraire à celle du courant et qui souvent sont aussi rapides que lui. Il s'y forme aussi des tourbillons plus rapides encore et dont la force rongeante est très-considérable. D'ailleurs les vagues ont aussi, comme on le sait, le pouvoir de ronger et d'excaver les rochers; elles agissent comme les vents qui les soulèvent dans différentes directions, et ces vents devaient avoir beaucoup de prise sur un courant large comme était le nôtre, de 4 à 5 lieues. Enfin, si

l'on veut consulter l'expérience, que l'on observe les bords de quelque rivière resserrée entre des rochers ; on verra sur ces rochers et des *sillons allongés* et des *excavations arrondies*, exactement semblables à celles que j'ai observées sur le *Mont-Salève ;* on y trouvera même des *cavités creusées dans une direction contraire à celle* du courant.

Autres effets des mêmes causes. Les grottes de l'Hermitage.

S. 225. Ce que l'on nomme des *grottes de l'Hermitage*, ou ces *excavations profondes* de 30 pieds et huit ou dix fois aussi longues, produites par la destruction totale de plusieurs couches de rochers, par quel agent pourraient-elles avoir été formées, si ce n'est par les érosions de cet ancien courant ?

La gorge de Monetier.

S. 226. La gorge même de *Monetier*, ou cette grande échancrure qui sépare le grand *Salève* du petit et dans le fond de laquelle est renfermé le joli *vallon de Monetier*, paraît avoir été formée par un courant semblable qui, descendant des Alpes par la vallée de l'*Arve*, venait se jeter dans notre grand courant, car les couches correspondantes du *grand* et du *petit Salève* indiquent leur ancienne jonction et l'on ne comprend pas quel autre agent aurait pu détacher et emporter la pièce énorme qui manque en cet endroit à la montagne.

Blocs de roches primitives.

S. 227. Le fond même et les côtés de ce vallon sont parsemés de *grands blocs de granit* et de *roches feuilletées*. Dès son entrée du côté de Genève, on trouve un *bloc de granit* du volume d'environ 1200 pieds cubes (411 mètres cubes).

On rencontre plusieurs de ces blocs, quand du haut du Pas de l'échelle on monte droit au *château de l'Hermitage ;* ils se présentent même là avec une circonstance bien remarquable.

Situation remarquable de quelques-uns de ces blocs.

Sur le penchant d'une prairie inclinée, on voit deux de ces *grands blocs de granit* élevés l'un et l'autre au-dessus de l'herbe, à la hauteur de 2 ou 3 pieds, par une base de *rocher calcaire* sur laquelle chacun d'eux repose. Cette base est une continuation des bancs horizontaux de la montagne, elle est même liée avec eux par sa face postérieure, mais elle est coupée à pic des autres côtés et n'est pas plus étendue que le bloc qu'elle porte. Comme le fond du terrain est composé de ce même *rocher calcaire*, et qu'il serait absurde de supposer que ce fond se fût soulevé précisément et uniquement au-dessous de ces blocs de granit, il est naturel de croire que c'est au contraire ce fond qui s'est abaissé autour d'eux, non pas en s'en-

fonçant, mais par l'érosion continuelle des eaux et de l'air, tandis que la partie de rocher qui a servi de base *au granit*, tenue à l'abri par cette couverture impénétrable, a conservé sa hauteur primitive. D'autres *blocs* soutenus par de semblables piédestaux dans des endroits où le rocher est de tous côtés à découvert, démontrent la vérité de cette explication. Ces *blocs* ont si parfaitement préservé les rochers qui les portent, que la surface de ces rochers est demeurée *plane* et *horizontale ;* et comme celle des *fragments de granit* est irrégulière, et qu'ainsi ils ne touchent cette surface plane que dans un petit nombre de points, on a la facilité d'observer cette surface. On voit que le rocher, bien loin d'avoir été rongé par les eaux, comme il l'a été partout où ces blocs ne l'ont pas tenu à l'abri, s'est plutôt augmenté par quelques *feuillets d'incrustations calcaires* qui s'y sont formés en quelques endroits.

Ils occupent encore la place où ils ont été déposés.

Toutes ces circonstances me paraissent prouver que chacun de ces blocs occupe encore exactement la même place dans laquelle il fut déposé par le courant qui les charria du haut des Alpes, lors de la grande révolution dont nous avons vu tant de vestiges. Cette pensée, lorsqu'elle me vint pour la première fois dans l'esprit, me remplit d'une sorte d'admiration respectueuse pour ces rochers qui, préservés pendant tant de milliers d'années, sont demeurés en silence, les monuments inconnus d'une des plus grandes catastrophes qu'ait essuyée notre globe. Je les examinai de toutes parts avec l'attention la plus scrupuleuse ; il me semblait toujours que je devais trouver, pour ainsi dire, quelque médaille ou quelque document qui m'apprendrait la date ou du moins quelque circonstance importante de ce grand événement. Un *grain de gravier*, de la grosseur et de la forme d'un œuf de pigeon, engagé sous un de ces blocs et quelques autres *fragments de roches primitives* engagés aussi sous un autre de ces rochers, me parurent être les derniers témoins du mouvement des eaux qui ont transporté ces grandes masses. A l'exception de ce *gravier* et de ces *fragments*, je n'ai trouvé aucun corps étranger qui accompagnât ces blocs de *roches primitives ;* ils reposent sur le *roc calcaire*, absolument à nu et sans interposition d'aucune autre matière.

Et ce sont les eaux qui les ont déposés.

Leur position achève de démontrer ce dont j'ai déjà donné de bien fortes preuves : c'est que ces blocs n'ont point été lancés au travers

des airs par des explosions souterraines; car des masses d'un poids aussi énorme venant d'aussi loin que le centre des Alpes, et par conséquent par une trajectoire prodigieusement élevée, auraient fracassé les rochers et auraient formé des enfoncements considérables; mais, au contraire, elles ne reposent sur la surface du roc et ne le touchent que par un petit nombre de points. Il n'y a que les eaux qui puissent, en diminuant la pesanteur de ces grandes masses, les avoir déposées avec cette légèreté, car leur chute au travers de l'air, ne fût-elle que de la hauteur de 8 à 10 pieds, aurait produit des excavations sur un **roc calcaire** qui n'est même pas des plus durs dans son genre.

Ces mêmes rochers serviraient à déterminer l'époque de la grande débâcle, si l'on pouvait s'assurer par quelque moyen de la diminution que l'action de l'air et des pluies produit dans un temps donné sur des rochers découverts de la nature de ceux du *Mont-Salève.*

Blocs de pierres primitives sur le grand Salève.

S. 228. Mais ce n'est pas seulement dans la gorge de *Monetier* que l'on rencontre des **blocs de granit** et d'autres **pierres primitives**; on en trouve de très-grands et en très-grand nombre sur le haut du petit *Salève*, et même sur le grand, jusqu'au sommet de la montagne, par exemple, vis-à-vis de *Crevin* et au-dessus du *Chalet de Grange Tournier*, c'est-à-dire à plus de 460 toises (896^{m},5) au-dessus du niveau du lac.

Il y aurait des recherches curieuses à faire sur ces *pierres adventives.* Quelquefois on les trouve mêlées de façon que celles qui se touchent sont de genres absolument différents, d'autres fois, dans un même lieu, on en trouve un grand nombre du même genre.

La Croisette et le Piton.

S. 229. En continuant de parcourir le sommet de la montagne, on descend dans une petite gorge qui la traverse, suivant sa largeur. C'est au fond de cette gorge qu'est situé le hameau de la Croisette. De là jusqu'au *Piton,* sommité devenue célèbre par les expériences de **M. de Luc**, les flancs de la montagne cessent d'être nus et escarpés; ils sont couverts de bois et de verdure, et l'on n'aperçoit que de loin en loin des bancs de rochers. Ces bancs sont toujours *calcaires* et à peu près horizontaux.

Sable au sommet de cette partie du Salève.

Le haut de la montagne est chargé dans tout cet espace d'un **sable blanc**, recouvert d'une terre végétale qui produit les plus

beaux pâturages; ce sable a dans quelques endroits plusieurs pieds de profondeur. Il paraît qu'il a été charrié par des eaux qui venaient des Alpes et qui ont versé par dessus la montagne tout ce qui n'a pas pu s'arrêter sur son sommet. On voit ici sous ses pieds, du côté du lac, de petites montagnes appuyées contre la grande et composées en entier de ce même **sable, agglutiné et converti en grès par des sucs calcaires.**

Ces **grès** sont très-beaux et très-durables; il y en a une carrière considérable au-dessus du hameau nommé *Verrières;* on en fait un grand usage pour l'architecture; on en a tiré des pièces de 15 pieds de longueur et l'on pourrait en lever de beaucoup plus grandes.

Pourquoi dans cette partie on ne trouve pas des blocs de granit.

S. 230. Dans toute cette partie de la montagne, de la *Croisette* jusqu'au *Piton*, on ne trouve presque point de **blocs de granit** ou d'autres **pierres adventives;** tandis que de la *Croisette* à *Monetier,* et même de *Monetier* à l'extrémité de la montagne auprès d'*Étrembières*, ces blocs sont très-fréquents et très-considérables.

On pourrait croire que cette différence vient de la différence des hauteurs, parce que le *Piton* est la sommité la plus élevée du *Mont-Salève.* **M. de Luc** a trouvé sa hauteur de 512 toises (998 mètres) au-dessus du lac. Il serait donc permis de supposer que la hauteur de 460 toises (869^{m},5), sur laquelle j'ai trouvé des **blocs de roches primitives**, est le plus haut point auquel ils aient pu être soulevés; qu'au-dessus de ce point, il n'est parvenu que des **sables.** Mais cette explication ne paraît pas suffisante, parce que j'ai vu entre la *Croisette* et le *Piton* des places plus basses que 460 toises (895^{m},5), et dans lesquelles on ne trouve pourtant point de ces **blocs.**

Je crois donc qu'il faut reconnaître que la différence que l'on trouve dans ces corps adventifs ne vient pas seulement des différentes élévations des lieux dans lesquels on les trouve, mais encore de la différence des courants qui les ont charriés; ces courants entraînant différentes matières, suivant les lieux dont ils tiraient leur source.

Mais outre cette raison générale, j'en vois ici une plus particulière. J'ai fait voir (S. 211) que ces fragments primitifs se trouvent accumulés en plus grande quantité vis-à-vis des grandes vallées des

Alpes, et que ceux de *Salève* sont vraisemblablement venus par celle de l'*Arve*. Or, quoique le courant déterminé par la vallée de l'*Arve* ait eu dans son centre assez de force pour accumuler de grands fragments jusqu'à une hauteur considérable, cependant ce courant n'a point dû avoir la même force sur ses bords, et par conséquent il n'a pu y porter que des **sables.** C'est ce que l'on voit dans toutes les grandes inondations; les rivières débordées charrient des pierres et du gravier là où leur courant est très-impétueux, mais elles ne portent que du limon sur les bords, où le courant n'a que peu de vitesse.

Singulier vestige de ces anciens courants.

S. 231. J'ai dit, pour expliquer la formation de l'échancrure qui renferme le *vallon de Monetier*, qu'elle avait été vraisemblablement creusée par des courants qui venaient des Alpes et passaient par-dessus *Salève* pour se jeter dans le grand courant qui remplissait la vallée du *lac de Genève;* j'ai supposé de semblables courants pour rendre raison des **sables accumulés** et sur la montagne et à son pied entre la *Croisette* et le *Piton*. Il existe un vestige bien remarquable de ces courants dans une espèce de puits que je découvris il y a quinze ou vingt ans d'une manière assez singulière.

Je me promenais un matin, par un beau soleil, sur le bord le plus élevé du *Mont-Salève*, au-dessus de *Collonge*, et j'admirais la netteté avec laquelle l'ombre de la montagne traçait à ses pieds les contours de ses bords, quand j'aperçus dans le corps de cette ombre un point éclairé par le soleil. Je refusai d'abord d'en croire à mes yeux; mais la lunette d'approche m'ayant rendu distinctement le même témoignage, il ne me fut plus permis d'en douter. Il fallut par conséquent admettre que la montagne était en quelque endroit percée de part en part. Cette singularité me frappa beaucoup; je résolus de faire les plus grands efforts pour découvrir l'ouverture par laquelle passait ce rayon.

Grand puits au bord de la montagne (Mont-Salève).

Pour cet effet, je me plaçai entre le soleil et le point éclairé, et en avançant dans cette direction je découvris un puits très-large et très-profond, taillé dans un roc au bord de la montagne; le soleil, qui était alors assez élevé, paraissait pénétrer jusqu'au fond de ce puits; je soupçonnai qu'il avait une ouverture sur le bord escarpé du rocher, et que quelque rayon s'échappant par cette ouverture, allait éclairer un point entouré des ombres de la montagne.

Pour vérifier cette conjecture, il fallait descendre jusqu'au fond de ce puits; par dedans la chose était impossible, à moins de se faire dévaler par des cordes; je le tentai donc par dehors et j'en vins à bout, à la vérité avec quelque peine et en faisant un détour. Je trouvai au bas du puits une grande ouverture qui avait la forme d'un portail irrégulier de 40 à 50 pieds (13 à 16 mètres) d'élévation, et je vis les rayons du soleil ressortir par cette ouverture après avoir pénétré obliquement jusqu'au fond du puits.

Creux de Brifaut.

Je reconnus même que cette ouverture est celle que l'on voit de la plaine vers le haut de la montagne, et que l'on nomme le *Creux de Brifaut*, parce qu'à cette distance elle ne paraît pas plus grande qu'il ne la faudrait pour un chien.

J'entrai dans le puits, dont le fond est à peu près de niveau avec cette entrée, et je jouis, en me retournant, du spectacle que présente ce site singulier.

On voit le ciel au-dessus de sa tête comme par une large et haute cheminée, et en baissant les yeux, on a une échappée de la vue de la plaine qui forme un brillant tableau encadré par la voûte irrégulière du grand portail par lequel on est entré.

Ce plaisir fut le seul fruit que je tirai de cette découverte dans le moment où je la fis; ce puits ne me présenta d'autre idée que celle d'une singularité ou d'un jeu de la nature. Mais quand j'ai visité de nouveau la montagne dans l'intention de rechercher les traces des anciens courants, ce puits est devenu pour moi sinon le puits de la vérité, du moins un monument intéressant et instructif.

Traces des courants qui ont creusé ce puits.

J'ai observé qu'il est cannelé du haut en bas de *sillons larges et profonds;* ces sillons règnent sur toute la circonférence intérieure qui est de plus de 300 pieds (97 mètres), et dans toute la hauteur qui va à 160 pieds (52 mètres). Ces cannelures sont beaucoup trop larges et trop profondes pour que les eaux de pluie aient pu les tracer, d'autant que ce puits est presqu'au haut de la montagne et qu'il n'y a point de ravin ou de canal considérable qui y conduise des eaux; en sorte qu'il ne s'y jette presque pas d'autres eaux que celles qui tombent directement du ciel. Je crois donc que ces *profonds sillons* sont des vestiges des anciens courants dont nous avons parlé, qui, descendant des Alpes situées derrière la montagne, venaient passer par-dessus son sommet et se verser dans la vallée de

notre lac. Une partie de ces eaux se jetait dans ce puits et en ressortait par l'ouverture inférieure.

Grands blocs roulés. Coteau de Boisy.

S. 306. Les fragments des rochers des Alpes que l'on trouve dispersés sur le coteau de *Boisy*, sont remarquables à bien des égards. Le plus grand de ces fragments, qui est même le plus grand que j'aie jamais rencontré à cette distance de sa source, est situé dans un champ au nord-ouest du château. On le nomme la **Pierre-à-Martin.** La forme régulière dont cette énorme pierre approche le plus est celle d'un parallélogramme rectangle. Sa hauteur à l'angle le plus élevé au-dessus du terrain est de 22 pieds (7^m,15), sa plus grande longueur de 26 (8^m,45) et sa plus grande largeur de 18 (5^m,85) [353 mètres cubes]. La matière de ce grand bloc est une **roche de corne**, mêlée de **stéatite**, de **mica** et de **quartz.** On y distingue des couches qui ne sont pas planes, mais dont les inflexions sont parallèles entre elles. Ces couches, épaisses de 3 à 4 pieds (0^m,975 à 1^m,3), ne se séparent pas aisément les unes des autres, parce qu'elles sont soudées par un *gluten quartzeux*. Elles sont traversées en quelques endroits par des fentes qui leur sont perpendiculaires, et ces fentes sont aussi soudées avec du *quartz*. *On verra dans mes voyages sur les Alpes avec quelle exactitude tous les caractères de ce fragment se retrouvent, tant pour la matière que pour la forme, dans les montagnes dont il a été détaché.*

Pierre-à-Martin.

Au reste, tous les angles de cette pierre sont **émoussés**, quoiqu'elle soit dure et compacte, et que son tissu ne paraisse point sensible aux injures de l'air.

On en a séparé, par le moyen de la poudre, des éclats qui se sont levés par feuillets, à peu près parallèles aux couches qui s'y observent. Ces feuillets ont servi à couvrir des aqueducs et à d'autres ouvrages de ce genre.

Autres blocs de roches feuilletées. Coteau de Boisy.

S. 307. On trouve sur ce coteau des blocs et des fragments d'autres espèces de **roches feuilletées**, d'un moins grand volume, mais en très-grand nombre. L'espèce la plus commune est assez remarquable; elle ressemble beaucoup à celle qui forme la matière des rochers du *grand Saint-Bernard*, au-dessous du *Plan de Jupiter*. C'est une espèce de roche de *corne verte*, remplie de petits points de *quartz blanc*. Chacun de ces points, qui ont au plus une demi-ligne (1^{mm},13) de diamètre, est composé d'un nombre de petits cristaux

disposés en étoile autour d'un centre commun. Cette pierre est mêlée de grandes veines d'un **quartz dur** et difficile à tailler ; mais comme le reste de la pierre obéit bien au ciseau, on en fait des chambranles de porte, des marches d'escalier et divers autres ouvrages.

Blocs de granit. Coteau de Boisy.

S. 308. Le *coteau de Boisy* est aussi parsemé d'un grand nombre de **fragments de granit.** Un des plus grands est à l'est-sud-est au-dessous du château; on le nomme la **Pierre du goûté ;** il est, comme la **Pierre-à-Martin**, d'une forme à peu près rectangulaire, de 10 pieds (3^{m},25) de hauteur, sur 15 à 20 (5 mètres à 6^{m},50) [90 mètres cubes] dans ses autres dimensions. Il est composé de **quartz gris**, de **feldspath blanc** et de **mica noirâtre ;** on n'y voit aucun indice de couches ni de fentes.

Un bloc de granit, moins grand, mais qui m'a présenté une particularité intéressante, est dans un champ peu éloigné du précédent, près du sentier qui conduit à *Chérabois*. En examinant attentivement ce bloc de tous les côtés, je découvris des restes de couches de 2 à 3 pouces (5 à 8 centimètres) d'épaisseur, d'une roche mélangée de grains presque imperceptibles de **quartz blanc** et de **mica noir.** Ces couches étaient restées adhérentes au **granit ;** je les détachai à coups de marteau pour les mieux observer, et je vis que les **gros grains du granit** se mêlaient par gradations avec les très-petits grains de cette **roche feuilletée.**

On verra dans la suite l'importance de ces transitions pour démontrer que le **granit** n'est point une **coagulation informe**, comme le pensent quelques naturalistes, mais qu'il est le produit règulier des cristallisations et des sédiments des eaux, tout comme les pierres que l'on trouve disposées par couches horizontales.

D'autres **blocs de granit**, composés de très-gros grains de **feldspath**, entremêlés de **feuillets de mica brillant et doré** avec très-peu de **quartz**, ressemblent exactement à ceux qui ont roulé dans la *vallée de Chamounix*, auprès du *Prieuré*, après s'être détachés du haut des *Aiguilles* qui font partie de la chaîne du *Mont-Blanc*. C'était surtout au-dessus de *Senoches* que l'on voyait de beaux fragments de cette espèce de **granit ;** mais on les a employés dans la construction des celliers que l'on vient de bâtir au bas du coteau de *Crépi*. Il en reste cependant encore un **bloc** dans une vigne.

J'ai vu enfin dans le même endroit de grands fragments d'un **granit jaunâtre**, rempli de petits cristaux hexagones de **schorl noir.**

Cailloux et blocs roulés. Thonon.

S. 313. En continuant de remonter le *lac de Genève* au delà du *coteau de Cologny*, on traverse de petites plaines couvertes de **cailloux roulés.** A trois quarts de lieue avant d'arriver à *Thonon*, petite ville, capitale du Chablais, on rencontre un nombre de **grands blocs roulés de granit.**

Colline de Saint-Paul. Meillerie.

S. 319. Entre la *Tour-Ronde* et *Meillerie* on passe au-dessous de l'extrémité la plus élevée de la haute colline dont j'ai déjà parlé, qui se prolonge par-dessus *Evian*, et va, en diminuant graduellement de hautenr, se terminer à l'embouchure de la *Drance.*

Cette colline, entièrement composée de **grès**, de **sable**, d'**argile** et de **cailloux roulés**, parsemée de **blocs de granit** et d'autres **pierres alpines**, a été manifestement formée par l'accumulation des dépôts du courant, qui, lors de la grande débâcle, sortit de la *vallée du Rhône* et vint descendre par celle de notre lac.

Lorsqu'on a l'esprit rempli des preuves que nous avons vues de l'existence de ce courant, et que de *Lausanne* ou des hauteurs voisines on observe cette colline, on ne peut pas se refuser à l'évidence de cette origine. On voit que les eaux du grand courant, resserrées par les rochers verticaux de *Saint-Gingouph* et de *Meillerie*, conservaient vis-à-vis d'eux toute leur vitesse et ne pouvaient point y former de dépôts ; mais que dès qu'elles ont dépassé ces rochers et qu'il s'est ouvert un large bassin, ces eaux se sont extravasées, ont perdu leur vitesse et ont déposé les débris qu'elles charriaient. On voit même la colline s'abaisser à mesure qu'elle s'avance dans la vallée du lac, parce que les matériaux dont elle est formée diminuaient en quantité à mesure que les eaux les déposaient sur leur route.

La haute colline du *Jorat*, sur le penchant de laquelle est bâtie la ville de *Lausanne*, a été formée par la même cause sur la rive opposée de ce même courant.

J'ai observé des collines semblables et également situées à l'entrée de toutes les grandes vallées des Alpes, lorsque des causes locales ne se sont pas opposées à leur formation. Nous en verrons plusieurs exemples dans la suite de cet ouvrage.

Montagnes de Meillerie et de Saint-Gingouph très-escarpées.

S. 325. Je ferai observer enfin que les montagnes de ***Meillerie*** et de *Saint-Gingouph* sont beaucoup plus escarpées et moins régulières dans la situation de leurs couches que celles de *Salève* et de *Voirons*.

La raison de cette différence est que celles-là sont beaucoup plus voisines du centre des Alpes (S. 287); le lac, en se retournant à l'est, se rapproche considérablement des chaînes centrales. *Je serais même porté à croire qu'il manque dans cette partie quelques-uns des gradins inférieurs du grand amphithéâtre des Alpes, et qu'ici le lac, qui est l'arène de cet amphithéâtre, occupe la place de ces marches qui ont été détruites par quelque révolution.*

Ce qui me fait avancer cette conjecture, ce n'est pas seulement la rapidité des escarpements et l'irrégularité des couches de ces montagnes; c'est encore leur grande hauteur, parce qu'il est très-rare de voir les chaînes de montagnes se terminer par des sommités si élevées.

Les montagnes vont en s'abaissant depuis leur centre jusqu'à la plaine.

M. le général Pfyffer a fait cette observation importante, et le beau plan des Alpes voisines de Lucerne, qu'il a exécuté en relief, met sous les yeux cette même observation : c'est qu'à l'exception de quelques irrégularités locales, *les montagnes vont en s'abaissant graduellement depuis leur centre jusqu'à la plaine, en sorte que si l'on comblait toutes les vallées, on pourrait monter par une pente douce et presque insensible jusqu'au sommet des plus hautes cîmes des Alpes.*

Lors donc que l'on voit des chaînes se terminer brusquement par de hautes montagnes, on doit croire que quelque puissante cause, ici, par exemple, *le grand courant qui descendait par la vallée du Rhône, a renversé et détruit les marches les plus basses de l'amphithéâtre.*

Recherches des anciens courants dans le Jura.

S. 352. J'ai cherché sur les flancs du *Jura* qui bordent la vallée de notre lac les vestiges du grand courant qui a coulé autrefois dans cette vallée. J'espérais d'y trouver des **sillons correspondants** à ceux que j'ai découverts sur les flancs du *Mont-Salève*. Mais jusqu'à ce jour mes recherches ont été infructueuses. Il est vrai que les flancs du *Jura*, du côté du lac, ne sont pas favorables à cette observation; ce ne sont pas, comme sur le *Salève*, des rochers nus et coupés à pic; ce sont des pentes couvertes de forêts et de prairies qui ne permettent que rarement d'observer la surface du roc.

En revanche, dans l'intérieur du *Jura*, j'ai vu en divers endroits des traces d'anciens courants d'un grand volume et d'une grande force; il est évident, par exemple, que la profonde vallée dans laquelle est située la ville d'*Ornans*, a été en entier creusée par des courants qui ont dû être très-considérables. On voit de tous côtés, sur les flancs des rochers nus et escarpés qui bordent et dominent cette vallée, de *grands et profonds sillons parallèles* à l'horizon, et d'autres **excavations** dans lesquelles il est impossible de méconnaître l'action des eaux; le petit ruisseau de la *Loue*, qui serpente paisiblement dans de jolis vergers et de belles prairies au fond de cette vallée, ne paraît pas capable d'avoir formé et rempli tout le vide qui règne entre les rochers qui la bordent.

A Ornans.

De même sur la route de *Belfort* à *Porentrui*, à deux petites lieues de *Delle*, on suit une jolie vallée qui est une des premières de cette partie du *Jura*. Cette vallée est bordée de **rochers calcaires**, coupés à pic, à la surface desquels on voit un grand nombre de ces **excavations** que je regarde comme des vestiges des anciens courants, et plusieurs d'entre elles sont à des hauteurs fort au-dessus de celle où peut atteindre le ruisseau qui coule actuellement dans la vallée.

Entre Belfort et Porentrui.

De même enfin, le courant auquel j'attribue la formation du passage de *Pierre-Pertuis* (S. 331), a dû être anciennement beaucoup plus considérable que le ruisseau qui y coule; ce ruisseau, tel qu'il est aujourd'hui, n'aurait pas besoin d'une aussi grande ouverture.

A Pierre-Pertuis.

S. 353. Enfin, pour donner encore des preuves d'un autre genre des courants considérables qui ont anciennement coulé dans les *vallées du Jura*, je ferai observer des **amas de cailloux roulés** qui composent des collines entières, élevées à des hauteurs dont les rivières actuelles, même dans leurs plus grands débordements, n'atteignent pas la dixième partie : au-dessous de *Jougne*, au-dessus de *Clairvaux* et en bien d'autres endroits.

Collines de cailloux roulés; autres preuves des anciens courants. Jura. Jougne. Clairvaux.

Les **cailloux roulés** que l'on trouve dans l'intérieur du *Jura* sont presque tous **calcaires**; je dirais tous, si, à force de chercher dans l'amas immense de ces cailloux que l'on voit au-dessous de *Jougne*, je n'y avais pas trouvé un fragment de **stéatite dure**, et un autre fragment d'une espèce de **granit veiné**. Mais, comme deux individus sur plusieurs millons font une exception peu sen-

Nature des cailloux dans l'intérieur du Jura. Dans l'intérieur du Jura on ne trouve que des cailloux calcaires et point de cailloux primitifs; les vallées extérieures sont remplies de cailloux roulés, de granit, porphyre etc.

sible, et que d'ailleurs ceux-ci peuvent être entrés par la vallée qui s'ouvre du côté des Alpes, immédiatement au-dessous de *Jougne*, on peut dire *qu'il ne se trouve point ou à peu près point de fragments de roches primitives dans l'intérieur du Jura.*

Au contraire, les vallées extérieures, celles qui avoisinent ou les *Alpes* ou les *Vosges* et qui ne sont pas séparées de ces **montagnes primitives** par des montagnes élevées et continues, sont remplies de *cailloux roulés* de *granit*, de *porphyre* ou *d'autres roches primitives.*

Gimel. S. 369. Après avoir traversé ces prairies, on monte au *Gimel*, village situé sur le penchant d'une colline de *sable et de cailloux roulés*, semblable et parallèle à celle de la côte. Nous y arrivâmes de bonne heure, car il n'est qu'à 2 lieues de *Rolle*; cependant comme on ne trouve aucun autre gîte de ce côté-ci du Jura, il fallut terminer là cette journée.

Cailloux roulés Pour tirer parti du reste de la soirée, nous allâmes nous promener sur les hauteurs qui dominent le village. Les **cailloux roulés** dont ce pays est couvert me parurent composés des mêmes espèces que j'ai décrites dans les chap. IV et V; j'y trouvai les **stéatites en masse et feuilletées**, les **roches de corne**, plusieurs espèces de **granit**, et entre autres celui qui est composé de **jade** et de **schorl spathique**, des **roches grenatiques à base de schorl** et à base de **pierre de corne** etc.

Gros bloc sur le Jura. Un beau **bloc de granit** d'environ 9 pieds (2m,90) de longueur sur 6 1/2 (2 mètres) de largeur et 5 (1m,60) [10 mètres cubes] de hauteur, composé de **quartz transparent**, de **feldspath blanchâtre** et de roche de **corne verte**, fut le terme de notre promenade. Nous nous assîmes sur ce rocher et nous y jouîmes de l'aspect singulier que présentent les Alpes, lorsque les derniers rayons du soleil teignent leurs neiges en couleur de rose; nos lunettes nous faisaient distinguer les glaces resplendissantes dont plusieurs de leurs cimes sont couvertes.

Le lendemain, 14 juillet, nous partîmes de bonne heure de *Gimel*, après avoir observé le baromètre. Le résultat de cette observation donna 1080 pieds (353m,7) pour la hauteur de ce village au-dessus du *lac de Genève.*

S. 389. De *Valorbe* nous remontâmes à *Balaigre*. En approchant de ce village, nous commençâmes à revoir les Alpes, qui, dans les vallées de *Joux* et de *Valorbe*, nous avaient toujours été cachées par la haute ligne du *Jura* que nous avions à notre droite, mais qui se montrent ici à découvert par une interruption de cette même ligne. **M. Pictet**, qui les vit le premier, me les montra; je voudrais, lui dis-je, pouvoir vous montrer dans ce même instant quelque fragment de *roche primitive*, introduit dans cette vallée par la même échancrure qui nous laisse voir les montagnes de ce genre: nous n'eûmes pas fait vingt pas, que nous en trouvâmes, et bientôt ils devinrent très-abondants sur notre route. Or il faut observer que depuis les hauteurs au-dessus de *Gimel*, nous n'en avions pas vu le plus petit fragment, quoique pendant tout le voyage nous eussions été, et moi surtout, continuellement attentifs à examiner toutes les pierres qui s'étaient trouvées à la portée de nos yeux.

Balaigre. Cailloux roulés des Alpes. Jura.

S. 394. Sur les bords du *lac de Neuchâtel*, on trouve, comme sur les bords du *lac de Genève*, des *cailloux roulés* de différents genres, et des *blocs considérables de granit* et d'autres *pierres alpines*. On en voit beaucoup entre *Yverdun* et *Granson*.

Cailloux roulés. Yverdun. Granson.

S. 430. Il ne faut pas confondre avec le **Mont Jura**, la montagne sur le penchant de laquelle est située la ville de **Lausanne.** Cette montagne se nomme le **Jorat**; sa nature et sa position diffèrent entièrement de celle du **Mont Jura**; mais la ressemblance de leurs noms les fait quelquefois confondre.

Le Jorat diffère du Jura.

De *Saint-Gingouph*, et mieux encore du haut de ses montagnes, on voit clairement le *Jorat* naître au-dessus de *Vevey*, à gauche de la *Veveyse*, ou sur la rive droite de ce torrent. On distingue au-dessus de *Saint-Saphorin* les bancs de cette montagne, qui montent vers l'ouest; on voit cette même montagne suivre la direction du lac, en courant à l'ouest-nord-ouest; prendre ensuite, depuis *Lausanne*, une marche qui tire plus au nord, et aller se joindre au Mont *Jura* tout près du village de *La Sarra*.

Description de cette montagne, le Jorat.

On traverse la montagne du *Jorat* en venant de *Berne* à *Lausanne*; on commence à la monter à une demi-lieue en deçà de Moudon; le plus haut point de ce passage est auprès d'une métairie qui porte le nom de *Chalet-Gobet*. **M. de Luc** a trouvé que le point le plus élevé

Sa hauteur.

a 270 toises (526 mètres) au-dessus du lac (*Recherches sur les modifications de l'atmosphère*, S. 753). L'observation de **M. Pictet** donna 13 toises (25m,3) de plus. Peut-être **M. de Luc** ne fit-il pas la sienne exactement à la même place.

Le Jorat est composé de grès.

S. 431. Le *Jorat* paraît être en entier composé de *grès* ou de *molasses*, qui diffèrent entre elles pour le grain, la couleur et la dureté. Tous ces beaux *grès bleuâtres*, qui portent le nom de *pierres de Lausanne*, sont extraites dans cette montagne.

Blocs de granit et autres fragments de roches des Alpes. Jorat.

J'ai fait sur le *Jorat* la même observation qu'au coteau de *Boisy* (S. 304); c'est que, bien que la montagne soit parsemée, et pour ainsi dire couverte jusqu'à son sommet, de blocs *de granit*, *de roches feuilletées* et d'autres fragments de *rochers des Alpes*, cependant on n'aperçoit aucun de ces fragments dans les *grès* qui composent les couches intérieures de cette montagne. D'où il suit que les sables par l'*agglutination* desquels ces *grès* ont été formés, furent accumulés avant la débâcle qui a couvert toutes les basses montagnes des débris des *rochers des Alpes*.

Ravine de la Menoge. Genève à la Bonne-Ville.

S. 438. Une demi-heure avant d'arriver à *Contamine* (route de *Genève* à la *Bonne-Ville*) on traverse une large et profonde ravine, creusée par un torrent nommé *Menoge*, qui a sa source au pied des *Voirons*.

En descendant au fond de cette ravine, on voit que les lits du terrain ne se suivent et ne se correspondent pas d'un bord à l'autre. A gauche, du côté nord-est, ce sont de *gros cailloux roulés*, entassés par *bancs très-épais*, et entremêlés de sable qui leur donne l'apparence d'une muraille dégradée; à droite de l'autre côté du ruisseau, on ne voit que du *sable* et de l'*argile*, dans une hauteur perpendiculaire de près de 100 pieds (32 mètres); seulement aperçoit-on dans ce sable deux ou trois files de *blocs arrondis*, placés, comme avec la main, sur des lignes horizontales.

On s'étonnerait de voir une dissemblance aussi grande à une aussi petite distance, si l'on ne savait pas que des terrains de ce genre, élevés par l'accumulation confuse de divers matériaux charriés par *des torrents*, n'ont jamais la régularité de ceux qu'ont formés les dépôts ou les cristallisations des eaux de l'Océan.

Colline de sable et cailloux roulés.

S. 439. Au village de *Contamine*, qui se prolonge entre l'*Arve* et une colline appuyée contre le pied du *Môle*, cette colline est en

pente douce de toutes parts, excepté du côté de l'*Arve*, où elle est taillée à pic; elle est toute de *sable* et de *cailloux roulés*.

Il me paraît bien vraisemblable que les escarpements et de cette colline et des bas du *Môle*, au-dessus de l'*Arve*, ont été produits, non par cette rivière, telle qu'elle est aujourd'hui, mais par d'anciens courants beaucoup plus considérables, et qui suivaient à peu près la même direction.

Débris des montagnes primitives. Bonne-Ville à Cluse.

S. 443. La route que l'on suit de la *Bonne-Ville* à *Cluse* est très-belle, c'est pendant l'espace d'une demi-lieue, une chaussée rectiligne et horizontale; mais ensuite l'*Arve*, en s'approchant des montagnes de la droite, force la route à passer sur les débris accumulés au pied de ces montagnes. Ces débris sont pour la plupart **calcaires**; ils sont cependant mélangés de *granit* et d'autres *roches primitives*, transportés là par les mêmes révolutions qui ont charrié de semblables roches aux environs de Genève; car les montagnes d'alentour sont toutes *calcaires* et bien éloignées encore des *primitives*.

Blocs de granit. Sallenche.

S. 481. La ville de *Sallenche* est traversée par une petite rivière dont elle porte le nom. On voit dans le lit de cette rivière, et au-dessus et au-dessous de *Sallenche*, de très-grands *blocs* de différentes espèces de *granit*. Ces blocs sont *roulés* et viennent des hautes Alpes qui sont au sud de la ville, car ici le fond du terrain est encore *secondaire*.

Blocs de granit transportés par d'anciennes révolutions. Saint-Gervais.

S. 490. Lorsque de *Sallenche* on veut aller droit à *Courmajor* par l'*Allée-Blanche*, on ne revient point traverser l'*Arve* à *Saint-Martin*; mais on suit la rive gauche, et l'on vient passer à *Saint-Gervais*. Je fis cette route en 1774; elle côtoie l'*Arve* sur le penchant de montagnes peu élevées, ou plutôt des collines qui, dans cet intervalle, bordent la rive gauche de cette rivière. Ces collines sont d'*ardoise*, mais *parsemées de grands blocs de granit*, qui *ont été transportés là par d'anciennes révolutions*.

Un de ces blocs mérite d'être observé; sa surface, de 20 pieds (6^{m},5) de diamètre, *est parfaitement plane*, et il paraît en entier composé de tables semblables, parallèles entre elles.

Grès ou poudingues entre les montagnes primitives et les secondaires. Le Buet.

S. 594. C'est un fait bien important, à ce que je crois, pour la théorie de la terre, et qui pourtant n'avait point encore été observé, que presque entre les dernières *couches secondaires* et les *premières primitives*, on trouve des *bancs de grès* ou de *poudingues*.

J'ai observé ce phénomène non-seulement dans un grand nombre de montagnes des *Alpes*, mais encore dans les *Vosges*, dans les montagnes des *Cévennes*, de la *Bourgogne* et du *Forez ;* je donnerai ailleurs les détails de ces observations, et les noms des lieux dans lesquels je les ai faites.

Ce fait est même encore plus universel ; car j'ai vu que le passage des *montagnes secondaires* aux *tertiaires* est aussi marqué par des *couches de brêches* et de *grès* (S. 242 *a*, et S. 243).

Mais, pour nous borner ici aux observations que nous venons de faire sur le *Buet*, on voit le plus grossier de ces *grès* (S. 586), déposé sur la surface de la première *roche primitive*, et un *grès moins grossier* (S. 585), déposé sur celui-ci. Lorsque les *couches calcaires* (S. 583 et 584) ont commencé à se former, les eaux contenaient les parties les plus subtiles du sable, qui, se déposant par intervalles, produisaient ces *couches minces de grès*, qui se manifestent par les petites *moulures blanches* que nous avons analysées. Enfin, la pierre qui forme la cime du *Buet* ne contient plus que quelques grains épars de ce même sable.

Conséquences théoriques de ce phénomène.

S. 595. Si cette observation est aussi générale que je le pense, elle prouve que tous les grands changements dans les causes génératrices des montagnes furent précédés par des secousses du globe, qui réduisirent en fragments plus ou moins grossiers différentes parties des montagnes qui existaient alors ; que ces fragments furent déposés par couches sur la surface de ces montagnes, dans un ordre relatif à leur pesanteur ; que là, des sucs de différente nature les agglutinèrent et les convertirent en *grès* ou en *poudingues ;* qu'ensuite de nouveaux *dépôts* ou de nouvelles *cristallisations* produisirent de nouvelles couches, qui, par le changement arrivé dans les causes génératrices des montagnes, se trouvèrent être d'une nature différente des premières, et formèrent de nouveaux genres de montagnes.

L'interposition de ces grès ne détruit pas la liaison entre les différents ordres de montagnes.

S. 596. Ces bancs de *sable* et de *débris*, interposés entre les dernières *couches primitives* et les *premières secondaires*, n'empêchent pas qu'en général il n'y ait une liaison marquée et des transitions nuancées entre ces deux ordres de montagnes. Ici même on voit que les *calcaires* et les *ardoises* du *Buet* sont mélangées, les unes de *grains de quartz*, les autres de *lames de mica ;* et toutes de *parti-*

cules d'argile et de *pierre de corne*, qui sont au nombre des éléments des *roches primitives*. Ces *sables* sont comme un point entre deux périodes, qui n'empêche pas la liaison des idées qu'elles renferment.

Blocs en aval du Glacier-des-Bois et sur les hauteurs, déposés par l'ancienne extension des glaciers.

S. 623. *Les* **fragments de granit** *que le* **Glacier des Bois** *a déposés témoignent qu'il descendait autrefois de ce côté-là, beaucoup plus bas qu'il ne le fait aujourd'hui. On voit aussi à l'ouest du glacier une* **colline calcaire**, *que je décrirai dans la suite, jusqu'au sommet de laquelle on trouve des* **blocs de granit arrondis**, *parfaitement semblables à ceux que le glacier charrie actuellement,* **et qui prouvent que le glacier s'est une fois élevé jusqu'à la hauteur de cette colline.** *Il paraît même que cette montagne fut un obstacle qui arrêta les progrès du glacier de ce côté-là ; car plus au nord-ouest, là où finit cette barrière, on trouve des vestiges du glacier, beaucoup plus avant dans la vallée. C'est une observation que j'ai faite dans mon dernier voyage en 1784, et qui m'avait échappé dans tous les autres. Sur la route du* **Prieuré à Argentière**, *un peu avant d'arriver à la* **chapelle des Tines**, *je remarquai près du chemin une portion d'enceinte, formée par un* **entassement de blocs de granit arrondis** ; *j'examinai attentivement la nature et la situation de cette enceinte, et je reconnus de la manière la plus indubitable que c'est une* **ancienne limite du Glacier des Bois**, *qui s'était autrefois avancé jusques-là. Je mesurai en droite ligne la distance à laquelle il se tient actuellement de cette limite, et je trouvai 500 de mes pas, ce qui fait 1300 à 1400 pieds (420 à 450 mètres). On ne se souvient point à* **Chamounix** *d'avoir vu là le glacier ; les mélèzes qui y ont crû, prouvent, par leur air de vétusté, qu'il y a bien longtemps que le glacier a abandonné cette place ; de même que leur triste et maigre figure indique la stérilité connue des terrains qui ont été occupés par les glaces. Les* **grands blocs de granit** *parsemés et renfermés dans l'intérieur de cette enceinte, sans qu'on en voie aucun au dehors, et* **leur ressemblance avec ceux qui sont actuellement au pied du glacier, démontrent que c'est lui qui les a déposés.** *Si donc on trouve des exemples de* **l'accroissement des glaciers**, *en voici un bien frappant de* **leur diminution** ; *et nous en verrons bien d'autres dans le cours de ces voyages.*

On peut vérifier ici plusieurs points de la théorie des glaciers. Glacier-des-Bois.

S. 624. Ceux qui ne se sentiront pas les forces nécessaires pour gravir jusqu'au haut de quelque glacier, pourront vérifier au pied du glacier des Bois plusieurs des principes que j'ai posés sur leur formation. Ils verront que leur glace est d'une espèce particulière, remplie de petites bulles, semblable en tout à de la neige qui s'est gelée après avoir été imbibée d'eau. Ils verront qu'elle est ici en grandes masses, sans aucun vestige de couches; là, divisée par couches très-épaisses; ils verront que sa structure n'indique point une formation lente par une apposition successive de lames ou de petits feuillets; ils trouveront la preuve de son *mouvement progressif* dans les *blocs de pierre qu'elle charrie*, pierres qui ne sont point de la nature de celles des montagnes qui bordent le bas du glacier, mais des *granits* qui ne se trouvent que dans les hautes cimes qui dominent ses parties les plus élevées; *on a même constaté par des alignements la réalité de ce mouvement progressif.* Ils comprendront enfin que c'est le renouvellement de ces glaces, produit par leur mouvement progressif, qui perpétue leur existence dans le fond d'une vallée assez chaude pour entretenir la plus belle végétation.

Mouvement des glaciers constaté par des alignements.

Réflexion géologique.

S. 625. Les blocs de pierre dont est chargé le bas du *glacier des Bois* invitent à une réflexion assez importante. Lorsque l'on considère leur nombre, *et que l'on pense qu'ils se déposent et s'accumulent à cette extrémité du glacier, à mesure que ses glaces se fondent*, on est étonné qu'il n'y en ait pas des amas beaucoup plus considérables. Et cette observation, d'accord en cela avec beaucoup d'autres que je développerai successivement, donne lieu de croire, comme le fait **M. de Luc**, que l'état actuel de notre globe n'est point aussi ancien que quelques philosophes l'ont imaginé.

Grand bloc de granit. Château du Montanvert porté là anciennement par le glacier.

S. 627. J'ai dit plus haut (S. 609), que le 15 juillet nous étions venus, **M. Trembley, M. Pictet** et **moi**, coucher au **Montanvert**, afin de pouvoir partir le lendemain au point du jour et pénétrer jusqu'au fond de la vallée de glace.

Mais où couche-t-on sur le **Montanvert? On y couche dans un château**; car c'est ainsi que les Chamouniards, nation gaie et railleuse, nomment par dérision la chétive retraite du berger qui garde les troupeaux de cette montagne. **Un grand bloc de granit, porté là anciennement par le glacier,** ou par quelque révolution plus ancienne, est assis sur une de ses faces, tandis qu'une

autre face se relève en faisant un angle aigu avec le terrain, et laisse ainsi un espace vide au-dessous d'elle. Le berger industrieux a pris la face saillante de ce granit pour le toit et le plafond de son château, la terre pour son parquet; il s'est préservé des vents coulis, en entourant cet abri d'un mur de pierres sèches, et il a laissé dans la partie la plus élevée un vide où il a placé une porte haute de 40 pouces et large de 16. Quant aux fenêtres, il n'en a pas eu besoin, non plus que de cheminée; le jour entre et la fumée sort par les vides que laissent entre elles les pierres de la muraille. Voilà donc l'intérieur de sa demeure : cet espace angulaire, renfermé entre le bloc de granit, la terre et la muraille, forme la cuisine, la chambre à coucher, le cellier, la laiterie, en un mot, tout le domicile du berger de **Montanvert.**

Il voulut bien nous le céder pour cette nuit, et la passer avec nos guides en plein air autour d'un feu qu'ils entretinrent au haut de la forêt. Pour nous, nous étendîmes sur le parquet un peu inégal du château, une botte de paille que nous avions fait apporter, et nous dormîmes là mieux qu'on ne dort souvent dans des appartements où l'art et la mollesse ont épuisé toutes leurs ressources. Le lendemain, un peu avant le jour, nos guides vinrent nous réveiller: je dormais alors profondément, et la lumière qu'on nous apportait par derrière faisait briller si singulièrement le **bloc de granit** sous lequel nous étions couchés, que je fus quelques moments sans pouvoir comprendre où j'étais ni ce que je voyais.

Rochers et débris au-dessus du chalet de Blaitière.

S. 658. En partant du *Chalet de Blaitière* (vallée de Chamounix), je me dirigeai au pied droit de l'aiguille, ou plutôt à celui qui était à ma droite, du côté du couchant. Je montai pendant une heure sur les sommités des couches verticales, dont j'ai parlé plus haut (S. 656). Cette partie de la route était rapide sans être très-fatigante. Mais alors j'entrai dans les entassements de **blocs de granit détachés du haut des aiguilles, et charriés par le glacier.** Il est extrêmement fatigant de gravir au travers de ces blocs, surtout quand ils sont, comme ils l'étaient alors, à moitié couverts de neiges nouvelles, qui les rendent glissants, et qui, masquant leurs intervalles, exposeraient sans cesse, au risque de se casser la jambe si l'on ne marchait pas avec beaucoup de précaution. Ces neiges, qui étaient tombées à la mi-août, un mois plus tôt qu'à l'ordinaire, me contrarièrent beaucoup dans ce petit voyage.

Observation générale sur les cailloux roulés

S. 717. Car, et c'est une observation importante pour la théorie de la terre, dans le haut des vallées entourées de hautes montagnes, on *ne voit point de cailloux roulés qui soient étrangers à la vallée même dans laquelle on les trouve ; ceux que l'on y rencontre ne sont jamais que des débris des montagnes voisines. Dans les plaines, au contraire, et à l'embouchure des vallées qui aboutissent aux plaines, et même assez haut sur les pentes des montagnes qui bordent ces plaines, on trouve des cailloux et des blocs que l'on dirait tombés du ciel, tant leur nature diffère de tout ce que l'on voit dans les environs.*

Roches dures très-plates, très-dures et polies par le frottement Bon-Homme Allée-Blanche.

S. 756. En montant le *Bon-Homme*, le chemin passe continuellement sur des pierres **plates très-dures et polies par le frottement.** Dans les quatre voyages que j'ai faits au ***Bon-Homme***, j'ai vu deux fois des mulets s'abattre sur cette montée.

Grès rempli de cailloux roulés. Allée-Blanche

S. 778. Je traversai d'abord des *couches de grès* qui étaient la continuation de celles dont je viens de parler (S. 776). Je trouvai ensuite des bancs d'une espèce de *poudingue grossier*, dont le fond était ce même grès rempli de *cailloux arrondis*. Quelques-uns de ces bancs se sont décomposés, et les eaux ont entraîné les parties de sable qui liaient les cailloux, en sorte que ceux-ci sont demeurés libres et entassés exactement comme au bord d'un lac ou d'une rivière. Il était si étrange de marcher à cette hauteur sur des cailloux roulés, que **Pierre Balme** en témoigna son étonnement, même avant que j'en parlasse. On aurait été tenté de croire qu'une cascade tombant anciennement de quelque rocher plus élevé, détruit dès lors par le temps, avait arrondi ces cailloux, si on n'en trouvait pas de semblables encore enclavés dans les couches régulières du grès qui compose le haut de cette montagne.

Effet des cailloux roulés sur l'esprit de l'observateur

S. 779. Quoique depuis longtemps je ne doute plus que les eaux n'aient couvert et même formé ces montagnes, et qu'il y en ait même des preuves plus fortes que l'existence de ces *cailloux roulés*, cependant leur *accumulation* sur cette cime avait quelque chose de si extraordinaire, et qui parlait aux sens un langage si persuasif, que je ne pouvais pas revenir de mon étonnement. Si, en marchant sur ces *cailloux*, et en les observant, j'oubliais pour un moment le lieu où j'étais, je me croyais au bord de notre lac : mais, pour peu que mes yeux s'écartassent à droite ou à gauche, je voyais au-dessous de moi des profondeurs immenses, et ce contraste avait quel-

que chose qui tenait d'un rêve: je me représentais alors, avec une extrême vivacité; les eaux remplissant toutes ces profondeurs, et venant battre et arrondir à mes pieds ces cailloux sur lesquels je marchais, tandis que les hautes aiguilles formaient seules des îles au-dessus de cette mer immense: *je me demandais quand et comment* ces eaux *s'étaient retirées*. Mais il fallut m'arracher à ces grandes spéculations et employer plus utilement mon temps à l'exacte observation de ces singuliers phénomènes.

Environs du grand Saint-Bernard. Course à un rocher poli naturellement.

S. 991. Parmi les objets voisins du grand **Saint-Bernard**, faits pour piquer la curiosité des amateurs de lithologie, on doit surtout remarquer un grand rocher d'une pierre très-dure, dont la surface exposée à l'air a reçu *un poli vif des mains de la nature*. Ce rocher est dans les montagnes qui dominent le couvent du côté de l'ouest. C'est **M. Murrith**, dont j'ai parlé au chapitre précédent, qui en a fait la découverte et qui eut la complaisance de nous y conduire le 19 juillet 1778.

Roches feuilletées.

S. 992. Dans cette course, on commence par descendre, pour remonter ensuite. On prend d'abord la route de l'Italie, on passe au **plan de Jupiter**, on descend de là entre des rochers de différentes espèces. Ce sont d'abord des roches mélangées de *quartz* et de *mica*, dont les *feuillets* sont fréquemment repliés à plusieurs reprises les uns sur les autres.

Roches de corne.

Plus bas, on trouve des *roches de corne* et de *schorl;* elles sont vertes, mêlées de nids et de veines de *spath blanc calcaire*, avec des *pyrites* qui agissent fortement sur l'aiguille aimantée.

Ardoises spongieuses.

S. 993. De ces rochers on descend encore comme pour aller à **la Vacherie**, mais avant d'y arriver on tire sur la droite sur un col élevé, qui porte le nom de **Col entre les deux fenêtres**[1]. Près du haut du col, on passe sur des ardoises, dont quelques-unes sont devenues légères et comme spongieuses, à cause des vides qu'ont laissés dans leur intérieur des *pyrites* qui se sont décomposées, et qui ont été ensuite entraînées par les eaux. Si ces cavités étaient *rondes*, au lieu d'être, comme elles le sont, de *forme cubique*, il serait difficile de ne pas prendre à l'œil ces *pierres noires* et *poreuses* pour des productions de *volcans*. Je dis à l'œil, car leurs caractères

[1] D. A. Aujourd'hui désigné par **Col-des-Fenêtres**, passage de mulets.

intérieurs leur refusent cette origine ; elles n'exercent aucune action sur l'aiguille aimantée, et ne se fondent pas au chalumeau ; elles se couvrent seulement d'une couche légère d'un vernis vitreux.

Mines de fer spéculaire magnétique.

S. 994. Au pied de la cime la plus élevée au-dessus de ce col, **M. Murrith** nous fit voir une *mine de fer spéculaire*, dont la gangue est mêlée de *quartz* et de *pyrites*. Le filon est renfermé dans une *roche ardésioïde*, mélangée de *mica* et de *quartz*, dont les *feuillets ondés* sont à peu près verticaux.

Les deux morceaux de cette mine que j'ai rapportés agissent fortement sur le barreau aimanté, et ils ont l'un et l'autre, comme les aimants naturels, des pôles très-décidés. Les fragments de cette même mine, exposés au chalumeau, se fondent en bouillonnant et en lançant des étincelles.

La cime de ce rocher est parsemée de fragments de la même roche dans laquelle est renfermée cette mine, mais les feuillets sont là parfaitement placés et parallèles entre eux, et les fragments eux-mêmes sont presque tous des parallélipipèdes. **M. Pictet** observa le baromètre sur cette cime, la plus haute de celles que nous atteignîmes dans cette promenade, et il en résulta une hauteur de 1410 toises au-dessus de la mer (2748 mètres).

Plombagine.

S. 995. Cette cime est elle-même dominée par une autre beaucoup plus élevée, qui se nomme la **Pointe-de-Drone**, et où **M. Murrith** a trouvé une *plombagine* semblable à celle de **Chamounix**, mais beaucoup plus riche. Quand on l'expose à la flamme du chalumeau, le phlogistique et l'air fixe se dissipent entièrement: il ne reste que la partie pierreuse, qui se fond en un verre blanchâtre. Cette *plombagine* détonne sur le nitre incandescent avec beaucoup de vivacité, en produisant une flamme d'une blancheur éblouissante.

Après avoir observé le baromètre, nous tirâmes au midi, en suivant le haut de l'arête sur laquelle nous étions, et nous passâmes près d'un petit lac, dont l'eau, mêlée de neige, a une teinte verte, demi-transparente. Cette eau n'avait qu'un quart de degré de chaleur au-dessus du terme de congélation.

Rocher poli.

S. 996. En suivant la même direction, nous arrivâmes à ce *singulier rocher* qui faisait le but de cette course ; ce rocher forme la crête même de cette petite chaîne. Sa surface supérieure descend à

l'est sous un angle de 43 degrés. C'est cette surface qui est *polie, et d'un poli si vif que l'on s'y voit comme dans un miroir.* Cette surface est dans quelques endroits parfaitement plane, au point que l'on pourrait en couper des tables de 8 à 10 pieds de longueur sur une largeur proportionnée; dans d'autres endroits elle est un peu *ondée*, mais toujours également *polie.* Elle est, ici, *veinée comme un marbre*, là, marquée de *taches angulaires*, comme si c'étaient des fragments enchâssés dans le fond de la pierre. Sa couleur varie : le fond est communément brun ou noirâtre et les taches d'un beau blanc; quelquefois cependant le fond lui-même est blanc. La pierre est très-dure, donne beaucoup de feu contre l'acier, en sorte que son *poli ressemble à celui d'une agathe ou d'un jaspe*, et a, par cela même, plus d'éclat que celui du *marbre.* Les parties blanches sont indubitablement un *quartz demi-transparent;* elles sont inaltérables à la flamme du chalumeau, mais elles se dissolvent très-promptement et avec une vive effervescence dans l'alcali minéral. Les parties noires paraissent de deux espèces : celles qui sont les plus voisines de la *surface polie,* perdent leur couleur à la flamme du chalumeau et y deviennent blanches comme celles dont j'ai parlé plus haut, mais sans y subir aucun autre changement, et elles se dissolvent aussi avec effervescence dans l'alcali minéral sans le colorer en aucune manière. Mais dans l'intérieur de la pierre on trouve des parties noires, tendres, qui, humectées avec le souffle, exhalent une odeur d'argile, et qui se fondent au chalumeau. Les parties noires et polies sont donc aussi un *quartz*, ou si l'on veut, un *jaspe coloré* par quelques particules de la *pierre de corne noire,* qui se trouve dans l'intérieur du rocher.

Il s'agissait ensuite de trouver la cause de ce poli naturel. L'explication qui se présente la première à l'esprit, lorsque l'on est sur les lieux, c'est que la surface extérieure de la pierre, *la seule qui soit polie, l'a été par le frottement d'une terre jaunâtre dont elle est en partie recouverte, et sous laquelle s'enfonce le rocher, en descendant, comme je l'ai dit*, de 43 degrés du côté de l'est. Cette terre, ou plutôt ce sable, est le produit de la décomposition d'une espèce de *grès* ou de *quartz grenu,* dont les parties dures et aiguës, agitées par les vents, les pluies, et par des causes peut-être *plus anciennes et plus actives auraient pu user et polir la surface qu'elles couvrent.* Ce qui

semblerait confirmer cette explication. C'est que quand on descend la montagne, comme je le fis, du côté de ses escarpements à l'ouest, on traverse une quantité de couches du même genre de pierre, dont les surfaces bien parallèles entre elles sont *polies et usées, mais point du tout polies;* elles ressemblent à des pierres que le *lapidaire a usées et dégrossies*, mais auxquelles il n'a pas encore donné le lustre et le dernier poli.

Je n'étais pas éloigné de m'arrêter à cette idée, lorsque **M. le docteur Bertini, le fils**, en revenant d'un voyage qu'il avait fait au **Saint-Bernard**, me fit observer qu'en divers endroits de la surface de cette pierre polie, on voit *des espèces de stries parallèles entre elles, parfaitement semblables à celles que l'on voit à la surface des cristaux de quartz :* d'où il concluait que c'est une cristallisation; et que peut-être quelque suc quartzeux avait mouillé cette surface, s'était cristallisé sur elle, et l'avait ainsi enduite d'une espèce de vernis. Cette explication me paraît effectivement plus vraisemblable que la première [1].

[1] D. A. En septembre 1857, accompagné de l'ami **A. Michel**, professeur, je me rends au *grand Saint-Bernard*. Nous séjournons à poste fixe à l'hospice du 9 au 21. Nos occupations principales, uniques, étaient de faire des observations météorologiques..... une décade météorologique complète.

Le 21, accompagné d'un guide, nous montons au Col-des-Fenêtres, 2920 mètres altitude, munis de ciseaux et de marteaux, pour visiter la **fameuse roche polie.**

Cette roche est parfaitement décrite par **M. de Saussure**, sous le rapport de son aspect et de sa composition minéralogique. Lorsque ce savant géologue la visita le siècle passé, on n'avait pas encore inventé (tout est invention ou découverte) les **roches polies et striées, rayées par les glaciers.**

Cette paroi de roche en est à ma connaissance le plus beau spécimen des Alpes. Surface verticale à découvert de plusieurs mètres de hauteur, sur une longueur de 10 mètres et plus. **Poli miroir fabuleux, coups de gouges, sillons, petites stries, boue de glacier,** tout est marqué. La lecture de ces hiéroglyphes tracées par l'ancienne extension des glaciers est réjouissante pour les glaciéristes. *Un petit glacier en activité existe en aval de cette roche :* **poli et rayé, roches et galets** au moment de notre passage. — Nous détachâmes sans difficulté de larges spécimens de la roche polie et y joignîmes des galets et des roches nouvellement polis et striés par le petit glacier en activité.

Les petits glaciers en activité, comme les grands, ont les mêmes allures; ils *usent, polissent, strient et raient les roches :* c'est dans leur caractère, dans leurs mœurs, rien à changer; et si parfois nous trouvons des roches dont les stries se croisent même à angle droit, ce sont des hiéroglyphes qui disent que les grands glaciers monstres ont fait les stries dans le sens de la vallée; après leur retraite (disparition par la fonte), de plus petits glaciers, qui n'occupaient plus que les points culminants des Alpes, ont peu à peu progressé; ils ont marché; — eux aussi ont voulu faire leur chemin et se sont

S. 1022. A une lieue au-dessous de **Liddes**, on côtoie des *rochers calcaires micacés*, composés de feuillets durs, plans, dirigés comme la vallée, et à peu près verticaux. Un quart de lieue plus loin, on passe à **Orsière**, grand village situé dans un fond, au bord de la **Drance**; et après en être sorti, on passe à la rive gauche de ce torrent, dont on avait toujours suivi la rive droite depuis le **bourg de Saint-Pierre.**

Blocs de granit roulés. Saint-Pierre à Orsière.

Lorsqu'on a traversé la Drance, on laisse à gauche le chemin qui conduit droit à **Courmayeur** par le **col Ferret.** Je suivis cette route dans mon voyage de 1781 (S. 855); et je reconnus, en la faisant, l'origine des *blocs de granit* que l'on rencontre dans le lit de la **Drance**, sur la route du **grand Saint-Bernard**; ces granits m'étonnaient beaucoup, parce qu'on n'en voit pas une seule montagne, pas même un rocher en place dans toutes les montagnes des environs du Saint-Bernard. Le **Vélan**, malgré sa grande hauteur, n'est point composé de ce genre de pierre: **M. Murrith**, le seul observateur qui ait jamais atteint cette cime, l'a trouvée composée d'une roche *feuilletée*, mêlée de *rognons de quartz.*

Mais en montant au **col Ferret**, je vis que la haute chaîne du **Mont-Blanc**, toute composée de *granit*, s'avance jusqu'au-dessus de la vallée que je remontais alors, et dans laquelle on trouve des *blocs énormes de granit*, évidemment détachés de cette chaîne. Il y a donc lieu de croire, que dans le temps de la débâcle qui a charrié les pierres alpines à de si grandes distances, il y en eut qui furent refoulées jusque dans le **vallon de la Drance**, qui n'avait sûrement point alors une pente aussi rapide qu'aujourd'hui; et ce qui le prouve, c'est que l'on ne voit pas un seul de ces blocs, ni sur le

amusés à passer sur les roches abandonnées par leurs ancêtres, en se dirigeant par la voie la plus courte vers le thalweg de la vallée, en descendant la pente fort à leur aise.

Cette localité est des plus intéressantes pour les glaciéristes et les géologues. Petit glacier en activité et preuves de l'ancienne extension des glaciers. Le géologue pourra détacher sur un parcours qui n'excède pas 20 mètres de longueur : **granit**, **gneiss**, **micaschiste**, **quartz**, **feldspath**, **roches feuilletées**, **ardoises spongieuses**, **fer spéculaire**, **schiste argileux**, **anthracite**, **plombagine**.

Le glaciériste détachera facilement une belle surface de la paroi de roche polie et striée par les glaciers, et aura soin de ne pas enlever la boue de glacier qui est particulièrement adhérente. Il trouvera des galets striés, rayés et polis anciens, et de plus des surfaces nouvellement rabotées, polies et rayées par le petit glacier embryon en activité.

glacier de la **Valsorey**, ni entre **Saint-Pierre** et le **Saint-Bernard**, ni même à un quart de lieue au-dessus de **Liddes** [1].

Montagnes moutonnées. Martigny à Saint-Maurice.

S. 1061. Plus loin, derrière le village du **Juviana** ou **Envionne**, on voit des rochers qui ont une forme que je nomme **moutonnée**, *car on est tenté de donner des noms à des modifications qui n'en ont pas et qui ont pourtant un caractère propre.* Les montagnes que je désigne par cette expression sont composées d'un **assemblage de têtes arrondies**, couvertes quelquefois de bois, mais plus souvent d'herbes, ou tout au plus de broussailles. *Ces rondeurs contiguës et répétées forment en grand l'effet d'une toison bien fournie, ou de ces perruques que l'on nomme aussi moutonnées* [2]. Les montagnes qui se présentent sous cette forme sont pres-

[1] S. Quoique ces considérations me parussent établir avec une grande probabilité l'origine de ces granits, je désirai de savoir ce qu'en pense **M. Murrith**. Comme cet estimable naturaliste habite ces lieux dès son enfance, son autorité me paraissait d'un très-grand poids. Voici l'extrait de sa réponse :

« Je me fais un vrai plaisir de répondre à votre question sur les granits, que je n'en ai « point vu dans les plus hautes montagnes de ma paroisse (**Liddes**, § 1021), quoique « je les aie presque toutes parcourues. Il est vrai que j'en ai trouvé en assez gros blocs « à la montagne dite en patois du pays *plan y beu*, ce qui veut dire la *plaine aux bœufs*. « Mais cette montagne est dominée par la pointe d'**Orni** ou d'**Ornex**, qui fait partie de « la chaîne du **Mont-Blanc**, qui est tout entière de granit. Malgré le vide qui se trouve « entre cette pointe et le **Plan-y-Beuf**, par la vallée d'**Orsière**, qui est intermédiaire, « la direction de cette débâcle ou éboulement de la pointe d'**Ornex** paraît d'autant plus « vraisemblable, qu'on peut suivre le granit depuis Plan-y-Beuf jusqu'au-dessus de la « chapelle qui est à deux portées de fusil au-dessus de **Liddes**, et qu'au-dessus de cet « endroit on n'en trouve plus ni dans la rivière ni dans les ravins. On trouve une seconde « preuve de cette débâcle dans la vallée de **Champé**, tendante aux **Valettes** au-dessus « de **Martigny**, où l'on voit le granit répandu dans la même direction, partant de la « même pointe d'**Ornex**, inonder la vallée jusqu'au bourg de **Martigny**. C'est vraisem- « blablement là l'origine des granits que l'on voit continuellement de **Liddes** à **Martigny**.

« Liddes, 18 mai 1785. »

Enfin, pour ne laisser aucun doute sur la justesse de cette explication, **M. Murrith** se donna la peine d'aller, le 9 août dernier, visiter les **aiguilles d'Ornex**, et il eut la bonté de me communiquer sur-le-champ le résultat de ses recherches.

« J'ai détaché, dit-il, quelques morceaux des granits de ces aiguilles pour les compa- « rer avec ceux des blocs roulés que nous voyons dans nos environs, et ils m'ont paru, « examen fait, être exactement les mêmes. Il n'est donc plus douteux que ces blocs « roulés ne viennent des hauteurs d'**Ornex**, qui font partie de la chaîne du **Mont-Blanc**, « et il paraît même que l'on pourrait y reconnaître les vestiges de la débâcle.

« 13 août 1785. »

[2] D. A. Moutonné ou ballonné, arrondi par la partie inférieure du glacier qui a passé sur les surfaces des roches en place.

que toujours des roches *primitives* ou au moins des *stéatites;* car je n'ai jamais vu aucune montagne de *pierre à chaux ou d'ardoise revêtir cette apparence.* Les signes qui peuvent donner quelque indice de la nature des montagnes à de grandes distances et au travers des plantes qui les couvrent, sont en petit nombre et méritent d'être étudiés et consacrés par des termes propres.

Ces montagnes, que j'allai sonder au haut des prairies qui les séparent de la grande route, sont composées d'un mélange très-ressemblant au précédent, et ce sont là les derniers *rochers primitifs* que l'on rencontre en sortant des Alpes par cette vallée. Le village de **Juviana** dont ils occupent les derrières, est encore à une lieue de **Saint-Maurice.**

Poudingues. Mont-Chardonne. Vevey à Lausanne.

S. 1099. Toute cette montagne, du moins au-dessus de Vevey où elle porte le nom de *Chardonne*, est composée de *poudingues grossiers* dont les *cailloux arrondis* sont liés par du *sable*, et ce *sable* par un *gluten calcaire* dont les parties se réunissent sous la forme de *spath* dans les fentes et dans les interstices des couches.

On voit aussi sur la route de **Vevey** à **Lausanne**, surtout entre **Saint-Saphorin** et **Cuilly**, des rocs d'un poudingue semblable dont les couches sont souvent entremêlées de couches de *grès argileux* ou d'*argile sablonneuse.* La plupart des *cailloux roulés* qui entrent dans la composition de ces *poudingues* sont de nature *secondaire* ou même *tertiaire :* ce sont des *pierres calcaires*, des *pétrosilex*, des *grès effervescents.*

En montant la pente rapide qui conduit du bord du lac à **Lausanne**, on rencontre fréquemment des *blocs roulés* de ces beaux *poudingues* que j'ai observés de part et d'autre de la vallée du Rhône, entre **Martigny** et **Saint-Maurice.** Ils sont absolument différents de ceux des environs de **Vevey ;** on n'y trouve point de cailloux de nature décidément *secondaire*, rien qui fasse effervescence; le sable mêlé de mica, qui remplit les interstices des cailloux, est lié par un gluten de la nature de l'argile ou du silex, et leur ressemblance avec ceux de la vallée du Rhône est si parfaite, que l'on ne saurait douter qu'ils n'aient été détachés des montagnes qui bordent cette vallée et transportés là par la grande débâcle. Leur grande dureté les rend propres à former des pierres meulières

et à tous les usages qui exigent les matières les plus dures et les plus cohérentes.

Route de Lausanne à Genève. Blocs et galets.

S. 1101. De **Lausanne** je revins à **Genève**, et je terminai ainsi avec **MM. Trembley** et **Pictet** le voyage qui a servi de cadre à cet ouvrage. Cette route ne nous retiendra pas longtemps, car autant elle est agréable par la beauté et la variété des sites que présentent le lac, les collines et les montagnes qui le bordent, et par le nombre de jolies villes que l'on traverse dans l'espace de sept ou huit heures, autant elle est peu intéressante pour le minéralogiste. Elle pourrait cependant le devenir s'il voulait observer en détail les nombreuses espèces de *cailloux roulés* dont cette route et les bords du lac sont parsemés.

Mais si le minéralogiste ne s'attache qu'aux phénomènes généraux, il ne verra entre le Jura et les Alpes qu'un bassin rempli de débris de ces mêmes Alpes, *charriés* et *arrondis* par les eaux, disposés par couches peu inclinées; ici de *cailloux presque purs*, là de *limon argileux*, plus loin de *sable mobile*, ailleurs du même *sable lié en forme de grès par un gluten calcaire*. Il verra aussi avec quelque intérêt de *grands blocs* de ces mêmes débris parsemés çà et là sur les bords du lac, par exemple entre **Allamand** et **Rolle.**

Il s'en voyait autrefois de très-beaux le long de la grande route, mais on les a presque tous détruits, soit pour la réparation de cette même route, soit pour des constructions particulières. Il est très-naturel que l'on en fasse cet usage; mais pour moi, je ne vois point sans un vif regret détruire ces précieux monuments de la grande révolution à laquelle la surface de notre globe doit son état actuel. Car si cette destruction suit les progrès que je lui vois faire depuis vingt-cinq ans, si les défrichements, les constructions continuent sur le même pied, il est vraisemblable que dans deux ou trois cents ans il ne restera dans nos environs que peu ou point de ces monuments.

Cette considération se réunit avec plusieurs autres pour prouver ce que j'ai déjà insinué ailleurs, que si les montagnes, les primitives surtout, paraissent être d'une antiquité qui effraie l'imagination, l'état actuel de la surface de notre terre, sa population, sa culture, sont, en comparaison, d'une date presque nouvelle.

S. 1375. A quelques minutes d'**Alassio**, on voyait sur le rivage des *monceaux de sable* de 10 à 12 pieds de hauteur.

Monceaux de sable accumulés par le vent sous des formes régulières. Alassio. Gênes à Nice.

Ils avaient été accumulés par le vent de mer, et leur régularité était vraiment admirable; ces monceaux étaient composés de couches minces, continues et concentriques, comme des voûtes paraboloïdes superposées les unes aux autres; ces voûtes étaient convexes du côté du ciel et du côté de la mer; c'étaient donc de petites montagnes en pente douce du côté du vent qui les avaient formées et escarpées du côté opposé.

J'ai déjà fait (S. 1229) la même observation sur les terres et les graviers accumulés par le débordement des rivières; l'air et l'eau donnent donc la même structure aux montagnes formées par leurs dépôts.

Ce sable, observé au microscope, paraît en grande partie composé de grains de *quartz blancs* ou *jaunâtres*. On y voit aussi d'autres parties de différentes couleurs, dont quelques-unes sont *calcaires* et se dissolvent dans les acides; enfin, il y a des parties attirables à l'aimant, dont les unes paraissent des *mines de fer grises*, les autres des *stéatites jaunâtres* demi-transparentes.

Les *grains de quartz* de ce sable sont tous ou presque tous *anguleux;* souvent même on y reconnaît des indices de *cristallisation*. Je suis bien porté à croire, comme **M. de Luc**, que les sables ne sont point tous des produits du brisement ou du détritus des pierres, mais qu'il y en a beaucoup qui sont le résultat d'une cristallisation qui s'est opérée dans le sein des eaux. Je montrerai même ailleurs un sable *quartzeux* produit artificiellement par une opération de ce genre.

Certains sables sont le résultat d'une cristallisation qui s'est opérée dans le sein des eaux.

S. 1164. En sortant d'**Annecy**, on se trouve dans une petite plaine horizontale qui est la continuation de celle que l'on traverse en venant du pont de **Brogny** à **Annecy** (S. 1161). Il paraît hors de doute que cette plaine a été abandonnée par le lac et que celui-ci s'étendait anciennement beaucoup plus loin qu'il ne le fait aujourd'hui.

Plaine abandonnée par le lac. Annecy.

On traverse ensuite des collines dont la base est un *grès tendre, argileux*, disposé par couches peu inclinées et couvert de *cailloux roulés* de tout genre.

Grès en couches peu inclinées.

Blocs de granit roulés. Montagne de Saint-Georges.

S. 1204. En montant la montagne de **Saint-Georges**, nous remarquâmes depuis le bas jusqu'à la moitié de sa hauteur des *cailloux roulés*, dont plusieurs avaient plus de 2 pieds de diamètre et qui étaient étrangers à cette montagne. La plupart étaient des *granits* et précisément de l'espèce de ceux que j'ai décrits (S. 1195), remarquables par les grands cristaux de *feldspath* et par le peu de *quartz* qu'ils renferment. Comme la montagne de **Saint-Georges** n'en produit aucun de ce genre, il est indubitable que ceux-là ont été charriés par la grande révolution et que les eaux descendaient alors en remplissant la vallée de l'**Arc** jusqu'à la hauteur de 200 ou 300 toises (390 à 585 mètres).

Cailloux roulés très-haut.

S. 1290. L'observation la plus intéressante que j'aie faite sur cette montagne, est celle des *cailloux roulés que je trouvai jusqu'à la hauteur de l'Abbaye*. Malheureusement je n'avais pas apporté mon baromètre ; mais je ne m'écarterai pas beaucoup de la vérité en la supposant de 250 ou 300 toises (487 à 584 mètres) au-dessus de **Saint-Ambroise.** Ces cailloux sont de différents genres : on y voit des *granits en masses*, et plus souvent encore des *granits veinés*, des *pierres calcaires*, des *roches de hornblende*, des *roches grenatiques* etc. Plusieurs de ces cailloux sont d'un volume considérable; il y en a même, et assez haut, que l'on peut nommer des *blocs;* toutes ces pierres *arrondies*, étrangères entre elles et au sol qui les porte, sont bien certainement *roulées;* elles sont même accompagnées du *sable* et du *gravier* qui complètent la preuve de leur origine.

On ne saurait douter que ces *cailloux* n'aient été déposés par un courant d'eau sur les flancs de cette montagne. Or il faut que ce courant ait été bien considérable pour avoir pu s'élever jusqu'à cette hauteur et remplir toute la largeur de cette vallée qui est de plus d'une demi-lieue. Il n'est pas nécessaire de dire que ce ne sont pas les eaux des plages qui produisirent un courant d'un aussi grand volume et doué d'une impétuosité assez grande pour charrier des *blocs de pierre* d'un poids aussi considérable. La nature de ces mêmes *blocs*, dont la matrice ne se trouve que dans des montagnes assez éloignées, atteste la force de ce courant.

Cailloux roulés. Supergue.

S. 1304. La pente de la montagne, près de **Supergue** [1], et sa

[1] S. **Supergue** est une très-belle église (sur le haut d'une montagne voisine de Turin),

sommité même sont couvertes de *gravier*, de *cailloux* et même de *blocs roulés* de *granit*, de *porphyre* et surtout de *serpentines*, qui sont là très-abondantes et très-variées. Plusieurs de ces *serpentines* tombent en décomposition. Il y en avait même qui se seraient entièrement décomposées sans le fer qu'elles contiennent et qui, en s'oxydant par l'action de l'eau et de l'air, était devenu un *gluten* qui avait lié les parties extérieures de la pierre et en avait formé une croûte solide, épaisse de 1 ou de 2 pouces (0m,027 à 0m,054). Cette croûte renfermait les parties intérieures de la pierre, qui étaient incohérentes, parce que le fer qu'elles contenaient, privé de l'accès de l'air extérieur, n'avait pu s'oxyder. Ces pierres avaient au moins 1 pied (0m,32) de diamètre, et comme leur forme était à peu près sphérique, celles qui étaient brisées ressemblaient, les unes à des éclats de bombe et les autres à ces *boules basaltiques* à couches concentriques, que l'on rencontre fréquemment dans les pays volcaniques. J'en avais vu plusieurs, et je les ai décrites dans mes deux premiers voyages de 1772 et de 1780; mais dans le dernier, que je fis en 1787, je cherchai ces boules pour les montrer à mon fils, et il me fut impossible d'en retrouver une seule: elles avaient sans doute achevé de se détruire.

Considérations générales sur les plaines de la Lombardie.

S. 1315. On compte de **Turin** à **Milan** 30 lieues, que l'on peut faire en douze heures en poste. Cette route est en entier dans les plaines, et ne peut intéresser le minéralogiste que par quelques considérations générales, et par les *cailloux roulés* qui forment le fond de ces plaines.

Plus on s'éloigne des Alpes et plus les couches de *cailloux roulés* paraissent enfoncées au-dessous de la surface du terrain. Dans les plaines des environs de **Turin**, on voit les cailloux immédiatement au-dessous de la terre végétale; tandis qu'auprès de **Milan**, on les trouve recouverts de couches épaisses et redoublées d'*argile*, de *sable* et de *gravier*. Il y a quelques exceptions locales; les rivières, les torrents ont, en quelques endroits voisins des Alpes, charrié et amoncelé des *sables* par-dessus les *cailloux roulés*; et d'autres fois, dans des endroits éloignés des montagnes, ces mêmes courants ont *entraîné* ces mêmes matières atténuées, et ont mis à

bâtie par le roi **Victor Amédée**, en accomplissement du vœu qu'il fit en 1706 pour obtenir du ciel la levée du siége de sa capitale.

découvert les cailloux qui en étaient anciennement recouverts. Mais le phénomène est vrai dans sa généralité, au point qu'au bord de la **mer Adriatique** on fait quelquefois plusieurs lieues sans voir une seule pierre, même dans les endroits où la terre est ouverte à une assez grande profondeur.

Ce phénomène n'appartient point exclusivement aux plaines du **Piémont** et de la **Lombardie.** Il est commun à toutes les grandes plaines connues sur notre globe, et il est par cela même d'une très-grande importance pour la théorie. Il prouve en effet, que les couches fondamentales de toutes ces plaines ont été déposées par des courants, dont la force dans les premiers temps, fut assez grande pour *charrier des cailloux jusqu'à de grandes distances des montagnes dont ils avaient été détachés,* mais qu'ensuite la violence diminua graduellement, en demeurant cependant toujours assez grande auprès des montagnes pour ne déposer que des cailloux dans leur voisinage, et pour soutenir pendant un long trajet, les *argiles* et les *sables* dont ils étaient chargés.

S. 1316. Cette gradation n'est cependant pas sensible entre **Turin** et **San-Germano**, quoique la distance soit d'environ 10 lieues ou de 5 postes et un quart. Dans tout cet espace, partout où des causes locales n'ont pas changé l'état naturel du terrain, on ne voit que peu ou point de *sable* ou d'*argile* à sa surface, et la terre végétale repose immédiatement sur les *cailloux roulés.*

Mais la raison de cette exception saute aux yeux. On voit que cette plaine est proprement une vallée resserrée entre les Alpes et les collines du **Mont-Ferrat**, et on comprend que ce resserrement a dû conserver au courant une vitesse suffisante pour l'empêcher de déposer du *sable* et de l'*argile.* Mais au delà de **San-Germano**, où les Alpes fuyant à l'est, donnent à la plaine une largeur considérable, les eaux commencèrent à *abandonner les sables,* et on commence effectivement à en voir des couches entre *les cailloux et la terre végétale.*

Considérations sur la terre végétale. Turin à San-Germano.

S. 1317. En faisant cette route de **Turin** à **San-Germano**, où j'avais presque continuellement sous les yeux cette *terre végétale,* reposant immédiatement sur les *cailloux roulés,* j'eus une belle occasion de réfléchir sur les idées relatives à la théorie de notre globe, dont cette *espèce de terre* a été le sujet.

Ce qui donnait là quelque importance à ces réflexions, c'est qu'on ne peut pas douter que cette belle est fertile vallée, contiguë aux plaines de la **Lombardie**, ne soit un des pays les plus anciennement cultivés de l'Europe, et où par conséquent on doit voir le plus en grand les phénomènes qui sont propres à cette terre. Ces *cailloux* qui lui servent de base, étaient encore une circonstance précieuse pour l'observateur. En effet, lorsque cette terre est assise sur d'autres *espèces de terre,* sur du *sable* ou du *menu gravier,* il peut s'élever quelque doute, quelque difficulté sur la détermination précise de son épaisseur et de ses limites, au lieu que ces *gros cailloux* la déterminent avec toute la certitude que l'on peut souhaiter.

Elle ne se change pas en sable.

S. 1318. Ce fait seul, que la terre végétale repose immédiatement sur les cailloux, prouve déjà, qu'au moins dans le **Piémont**, *la terre végétale* ne se convertit point en *sable quartzeux.* Un chimiste très-célèbre, **M. Sage**, regarde le *quartz* comme un sel dont les ingrédients, savoir l'alcali fixe et l'acide vitriolique, se trouvent dans les végétaux ; il conclut de là que la décomposition spontanée des végétaux produit de *petits cristaux de quartz* ou des *grains de sable;* et en conséquence il croit que les *sables* qui se trouvent fréquemment au-dessous de la *terre végétale,* ceux de la **Westphalie**, par exemple, sont l'ouvrage, ou plutôt le dernier résultat de la végétation. Or entre **Turin** et **San-Germano** on ne trouve point de *sable au-dessous de la terre végétale;* et cependant les végétaux du **Piémont** sont essentiellement de la même nature que ceux de la **Westphalie.** Et si l'on supposait que le sable produit par les végétaux, ait pu s'écouler entre les intervalles des cailloux, j'objecterais une infinité d'endroits dans les montagnes et même dans les plaines, où la terre végétale repose *immédiatement sur le roc*, sans que la plus petite couche de *sable* se trouve interposée entre le *roc et la terre.* Il semble donc que quand on trouve ce sable au-dessous de la terre végétale, on doive lui attribuer une origine différente.

Limite des accroissements de la terre végétale. Turin. San-Germano.

S. 1319. Le peu d'épaisseur de la *couche de terre végétale* que l'on voit dans ces plaines, me semble aussi prouver que l'on ne peut regarder la quantité de cette terre comme une mesure du temps qui s'est écoulé depuis que le pays a commencé à produire des végétaux ; car dans cet espace de 10 lieues, entre **Turin** et **San-**

Germano, je ne lui vis nulle part, même dans les pays les mieux cultivés, une épaisseur qui allât à un pied : or la petitesse de cette quantité prouve que cette terre est sujette à une décomposition qui met une limite à son accroissement : car sans cela, comment un pays plat, fertile, cultivé sûrement depuis plus de trois mille ans, n'en possèderait-il pas une couche plus épaisse ?

La nature même de cette terre prouve qu'elle doit être sujette à une décomposition spontanée. En effet, son analyse démontre qu'elle est composée de *fibres et de racines végétales à demi-putréfiées*, et d'un mélange de *fer* et de différentes *terres imbibées des sucs* à demi-décomposés des plantes qui y ont végété : or ces restes de plantes doivent à la longue achever de se décomposer; leurs éléments volatils doivent s'évaporer, et servir à des productions nouvelles, conjointement avec une partie des principes fixes qui sont pompés par les racines; d'un autre côté, les eaux des pluies qui lavent la surface de ces terres, et qui les pénétrent dans toute leur épaisseur, doivent aussi entraîner, soit dans les rivières, soit dans le sein même de la terre, les *sels*, les *terres atténuées* et le *fer*, seuls résidus fixes qui puissent survivre à la décomposition des végétaux. Cette destructibilité de la terre végétale est un fait au-dessus de toute exception; et les agriculteurs qui ont voulu suppléer aux engrais par des labours trop fréquemment répétés, en ont fait la triste expérience : ils ont vu leur terre s'appauvrir graduellement, et leurs champs devenir stériles par la destruction de la terre végétale.

Puis donc que cette terre est destructible, la quantité qui s'en détruit doit être jusqu'à un certain point proportionnelle à sa quantité absolue; et comme, d'un autre côté, la quantité qui s'en produit annuellement est nécessairement limitée, son accroissement doit aussi avoir des limites déterminées.

Les limites de cet accroissement doivent varier suivant le climat, suivant la nature et la situation du fond qui sert de base à la terre végétale, suivant les plantes qui y croissent, suivant les genres de cultures qu'on leur donne; enfin suivant la fertilité du pays. Mais lors même que toutes les causes qui tendent à augmenter l'épaisseur de cette couche de terre se trouveraient réunies, on ne saurait douter qu'elle n'atteignît enfin un certain maximum au delà duquel

les causes destructives devenues égales aux causes productives ne leur permettraient pas de s'élever[1].

Je ne crois donc pas, comme **M. de Luc**, que le peu d'épaisseur de la terre végétale puisse servir d'argument pour prouver le peu d'antiquité de notre globe. Ce n'est pas que je ne pense au fond comme lui sur cette grande question, je l'ai déjà déclaré plusieurs fois; mais je pense que c'est par d'autres arguments qu'il faut la décider.

Cailloux roulés des environs de Turin.

S. 1320. Je viens à la nature même des *cailloux roulés* que l'on rencontre sur cette route; ceux des environs de **Turin** qui se montrent à découvert sur les bords du **Pô** et de la **Doire**, présentent une grande variété de *serpentines*, de *schistes cornés*, de *roches mélangées de hornblende en lames*, quelques *pierres calcaires*, quelques *granits* et quelques *variolites*.

Variolites de Turin.

Ces *variolites* ressemblent beaucoup à celles de la *Durance;* mais celles qu'on trouve dans les environs de **Turin** ne sont pas d'un beau vert comme celles des bords de la *Durance*, et la nature même de leur pâte est différente; cette pâte est sujette à se décomposer. Lorsqu'elle a subi cette décomposition, sa surface est d'un brun noirâtre, presque mate, et demi-dure au plus. Mais celle qui ne s'est pas transformée, a, lorsqu'elle a été roulée, sa surface d'un gris brun, luisante et grasse au toucher; intérieurement la cassure des parties saines est d'un gris de souris foncé, un peu brillante, à petites inégalités et à petites écailles, à fragments assez aigus et translucides aux bords; elle est dure, agit sur l'aimant et se vitrifie très-aisément en un verre d'un gris verdâtre translucide, brillant et un peu bulleux; mais celle qui est décomposée donne un émail noir et opaque. Les grains sont remarquables et méritent une description un peu détaillée. Les plus gros d'entre ceux qui sont simples, c'est-à-dire, ceux qui ne sont pas composés de la réunion de plusieurs grains ont 2 1/2 à 3 lignes de diamètre. Dans ceux qui

[1] 5. Ce serait une grande erreur de croire que la fertilité d'un pays dépend uniquement de la nature du sol; la chaleur et l'humidité de l'air, la quantité et la nature des exhalaisons dont il est chargé, y influent beaucoup plus encore. J'ai vu en **Sicile** et en **Calabre** des rochers et des graviers incultes et arides qui, dans notre pays, auraient été tout à fait stériles, et qui là produisaient des plantes beaucoup plus vigoureuses que ne les donnent chez nous les terrains les plus gras et les mieux cultivés.

ne sont pas des plus petits, on distingue trois parties différentes. Au milieu de chacun d'eux est une espèce de noyau d'un gris obscur, un peu moins obscur que le fond de la pierre, mais cependant de la même couleur et de la même nature. Ce noyau est entouré d'un cercle d'une couleur un peu plus claire, et duquel sortent des pointes de cristaux qui pénètrent dans l'intérieur du noyau; ce cercle est lui-même entouré d'un cercle blanc qui forme la partie la plus apparente des grains; et ce cercle est aussi entouré de pointes de cristaux saillants au dehors du grain; ces pointes pénètrent la pâte obscure qui fait le fond de la pierre, et elles sont d'une couleur un peu plus terne que le cercle blanc dont elles sortent. Ces cristaux sont tous disposés en étoiles; c'est-à-dire, qu'ils tendent du centre à la circonférence de chaque grain; je n'ai point pu déterminer la forme de ces cristaux; tout ce que j'ai vu, c'est que leurs pointes sont des pyramides droites. Ces grains sont durs, même plus que le fond; et comme ils résistent beaucoup mieux à la décomposition et au frottement, on les voit souvent saillants au-dessus de la surface de la pierre. Ils prennent un beau poli, même dans leur noyau, quoique sa couleur soit obscure, et qu'il ne paraisse pas cristallisé; le fond au contraire ne prend point le poli; ce qui fait d'autant plus ressortir l'éclat des grains et donne à la pierre polie un aspect très-agréable; ils sont aussi très-fusibles et donnent un verre couleur d'olive claire, qui s'affaisse aussi sur le tube, et qui est rempli de petites bulles. Cette pierre est assez dense; le poids de l'eau distillée est au sien comme 1000 : 2900 (2900 p. sp.).

Le bel échantillon que m'a donné **M. de Saint-Real**, contenait une *veine de schorl vert* ou *delphinite* (S. 1225) confusément cristallisée qui, suivant la propriété connue de cette pierre, commence à se gonfler beaucoup au premier coup de flamme, et se fond ensuite avec quelque peine en un verre noir.

Variolites de la Sesia. S. 1321. J'ai trouvé une autre belle *variolite*, d'un genre tout différent, au bord de la **Sesia**, rivière que l'on traverse à quelques minutes au delà de **Vercelli.** La pâte ou le fond de cette *variolite* est d'un gris rougeâtre, sâle et terreux par décomposition, et ses grains sont d'un rouge de brique vif; cette pâte est tendre, mais d'une fusion difficile, et le verre qui en résulte est décloré, rempli

de petites bulles et parsemé de points noirs ferrugineux. Les grains sont gros comme des pois, lorsqu'ils sont fraîchement cassés; ils paraissent composés de trois ou quatre couches concentriques, qui alternent d'un rouge plus obscur à un rouge plus clair, et l'on y aperçoit, comme dans ceux de la *variolite de Turin*, des indices de rayons qui tendent du centre à la circonférence. Exposés à la flamme du chalumeau, ils se décolorent entièrement; les distinctions des couches disparaissent, et ils présentent un verre blanc et poreux. Les différentes parties de cette pierre paraissent donc toutes de la nature du *pétrosilex primitif;* sa pesanteur spécifique est de 2569.

On trouve aussi sur les bords de la même rivière d'autres *variolites* dont la pâte est dure, d'un rouge de brique vineux, et dont les grains sont d'un rouge clair; leur nature paraît être la même.

Porphyre de feldspath et de delphinite. Sesia.

S. 1322. Une autre pierre remarquable, que je trouvai sur les bords de la *Sesia*, c'est un *porphyre rouge* et *vert*, mélangé de *feldspath* et de *delphinite;* la partie rouge, qui forme la pâte, est un *feldspath rouge*, grenu, à grains médiocres et durs. La partie verte est disséminée par nids arrondis plus ou moins réguliers, de deux ou trois lignes de diamètre, composés d'aiguilles distinctes qui tendent au centre du nid. Entre ces aiguilles vertes, on en distingue quelques-unes d'un gris noirâtre et brillant: elles sont toutes plus dures que l'acier, et se fondent avec quelque difficulté en un verre noir et luisant: elles ne se boursoufflent pas avant de fondre, comme les *delphinites ordinaires;* je crois cependant devoir les rapporter à ce genre. On y remarque aussi quelques *cristaux de feldspath*.

On ne connaît pas le pays natal de ces cailloux.

S. 1323. Quant au pays natal de ces différentes pierres, comme la *Sesia* prend sa source dans les Alpes qui dominent la vallée d'*Aoste*, on pourrait croire que c'est dans ces montagnes qu'il faut chercher les rochers d'où ces cailloux ont été détachés, mais cette conjecture est très-incertaine. En effet, ce ne sont pas toujours les rivières où se trouvent des cailloux qui les ont déposés sur leurs bords; souvent ces cailloux ont été transportés dans les lieux où coulent ces rivières, par d'anciens courants qui n'ont rien de commun avec elles; et *souvent la rivière actuelle n'a fait que mettre ces cailloux à découvert en entraînant les terres et les sables qui les cachaient à nos yeux.*

Cependant, quant à la *variolite* (S. 1520), **M. le comte de Morozzo** a publié un mémoire sur cette pierre qu'il nomme *variolite du Piémont*, il a suivi ses traces en remontant la **Doire** au-dessus de **Suze**, et il croit qu'elle vient des montagnes du *Col-des-Fenêtres*, et du *Col-de-Fatières*. Il ne dit pourtant pas qu'il ait observé les rochers dans leur lieu natal (*Acad. de Turin*, 1791).

Collines de sable et de gravier. Apennins.

S. 1327. La route de **Milan** à **Gènes** passe par les villes de **Pavie** et de **Tortone**, et suit encore les plaines jusqu'à **Castagio**, village situé à 3 lieues au delà de **Pavie**; là même on ne pénètre point encore entre les collines, on les côtoie pendant quelque temps pour s'en écarter ensuite; la route ne s'engage dans les montagnes qu'à **Novi**, premier village de l'État de **Gènes**.

En côtoyant ces collines qui forment la lisière extérieure de l'*Apennin*, on voit qu'elles sont composées de lits peu inclinés de *sable* et de *gravier*. Les **Apennins**, comme les **Alpes**, sont presque partout bordés de collines de ce genre.

Dans le milieu des grandes plaines de la **Lombardie**, on ne voit guère que du *sable* et de l'*argile;* mais en approchant de ces collines, on commence à revoir des *cailloux roulés* dans les lits des ruisseaux et même à la surface de la terre. Là, ces cailloux sont presque tous des pierres *calcaires* et des *grès*.

Blocs de granit énormes. Toppiano, Formazza aux îles Borromées.

S. 1750. En aval de **Toppiano** (chemin de *Formazza* aux *îles Borromées*) on rencontre un petit oratoire, et près de là, des *blocs de granit veiné* entièrement détachés, à *angles vifs*, d'une *grosseur énorme*. L'un d'eux, auprès duquel passe la grande route, qui n'est ici qu'un sentier à mulets, est réellement effrayant par le surplombement de celle de ses faces sous laquelle on est forcé de passer; il semble qu'il doive de lui-même culbuter en avant et vous écraser; mais quand on l'a passé et qu'on voit la largeur de sa base, on comprend qu'il n'y a pas de danger.

Cailloux du Tessin. Novare.

S. 1324. Le **Tessin**, que l'on traverse à une lieue et demie de **Novare**, a aussi son lit rempli de *cailloux roulés;* ce sont des *granits*, *porphyres*, *quartz*, *roches grenatiques*, *roches mélangées de hornblende et de quartz*, *serpentines etc.*

Mais je n'y trouvai point de *variolites*, et la pierre la plus remarquable qui s'offrit à mes yeux, était un *porphyre à pâte grise*, dure, renfermant des cristaux de *feldspath rose*, plus ou moins réguliers,

et des grains irréguliers de *quartz blanc*, *laiteux*, demi-transparent. Cette pâte grise est très-dure, elle a un grain très-fin, un commencement de demi-transparence; elle donne contre l'acier de vives étincelles; elle est d'une fusion difficile, et se comporte au chalumeau comme les pétrosilex les plus réfractaires. Cette pâte paraît donc composée du mélange des éléments du *quartz* et du *feldspath*, dont les parties se présentent réunies çà et là sous la forme de grains dans l'intérieur de la pierre. Dans tous ces cailloux, je n'ai pu en apercevoir aucun qui eût essuyé l'action des feux souterrains.

Situation des couches déposées par les débordements. Pavie. Novi.

S. 1329. Entre **Pavie** et **Novi** nous traversâmes le **Pô** et la **Scrivia** qui s'étaient débordés et avaient causé d'affreux ravages; les eaux venaient de se retirer, mais en divers endroits elles avaient laissé les campagnes ensevelies sous des amas de *sables* et de *gravier*. Pour tirer quelque utilité de ce triste spectacle, j'observai avec soin la situation qu'avaient prise les couches dont étaient composés ces amas. Je vis que sur des terrains unis, ces dépôts formaient des espèces d'*ondes en pente douce du côté d'en haut*, ou du côté d'où venait le torrent, et *escarpées du côté opposé*. Cette observation me donna la clef de la situation des *bancs de nos collines tertiaires*, ou de celles qui sont composées de *sable*, de *gravier* et d'*autres débris accumulés* par les eaux. Dans les lieux où ces eaux n'ont rencontré aucun obstacle, ces collines sont toutes escarpées du côté des plaines, et descendent en pente douce du côté des montagnes d'où sont venus les courants qui les ont formées.

Mais lorsque le courant avait rencontré quelque obstacle invincible, tel qu'une grosse pierre ou un buisson élevé et touffu, alors le monticule de dépôts se terminait en pente douce, au-dessous de l'obstacle. J'ai fait aussi dans nos montagnes l'application de ce phénomène.

Cailloux roulés de l'Isère. Livron à Valence.

S. 1572. De **Livron** à **Valence** on voyage continuellement dans des chemins qui paraissent d'abord se distinguer par leur largeur, leur rectitude, et par les arbres qui les bordent, mais ils sont fatigants par leurs profondes ornières, et mortellement ennuyeux par leur monotonie.

Toute cette plaine est couverte de *cailloux roulés*, moins nombreux auprès de **Livron**, dont la colline, qui se prolonge au nord du village, a préservé les environs des cailloux qui venaient des Alpes; mais ensuite ils sont extrêmement abondants.

Entre *Loriol* et *la Paillasse*, on commence à voir dans les champs et sur le chemin même, les *cailloux roulés*, de l'*Isère*, reconnaissables à la quantité de hornblende noire qu'ils renferment dans les schistes de différentes espèces, et surtout à une espèce de *variolite* dont je parlerai plus bas, et que l'on nomme *variolite du Drac*. Le *Rhône* charrie bien ces mêmes espèces à de plus grandes distances de l'*Isère*, et on les trouve ainsi sur ses bords fort au midi de la colline de *Livron;* mais dans les champs un peu élevés au-dessus du lit du fleuve, je n'en ai reconnu qu'au nord de cette colline.

Collines de cailloux roulés.

Cette plaine est bornée à droite ou à l'est par des collines de *cailloux roulés*, par-dessus lesquelles on voit, comme dans le bassin de notre lac, la première ligne des *montagnes calcaires des Alpes*.

Terre rouge. Montélimart. Valence. Tain.

S. 1573. On observe sur la route de **Montelimar** à **Valence**, et même sur celle de **Valence** à **Tain**, un fait assez remarquable. C'est que la partie du terrain la plus voisine de l'air ou de la surface est d'un rouge de brique très-marqué, jusqu'à une profondeur qui varie, mais qui en général passe rarement un pied, tandis que l'intérieur est gris ou blanchâtre. Ce n'est point une terre qui paraisse essentiellement d'une nature différente: la partie rouge, de même que la grise, est un mélange de *sable* et de *cailloux roulés;* ce n'est point non plus un lit ou une couche distincte, qui indique une reprise ou un changement dans le *dépôt de graviers* qui couvrent ces plaines; la même couche, dans le vrai sens de ce terme, a sa partie supérieure rouge et sa partie inférieure grise.

Il paraît que cette couleur tient à du *fer* qui se colore en s'oxydifiant par le contact de l'air, et peut-être aussi par l'action de quelqu'un des produits de la végétation. Et ce qui démontre que ce n'est pas un dépôt de terre originairement rouge, c'est que dans les endroits où l'on a enlevé la première surface, et où l'on a mis à découvert la partie grise, on voit celle-ci prendre à la longue la même couleur rouge auprès de la surface. Cette couleur réside dans les parties si fines qu'elles s'attachent à la surface des cailloux, et teignent d'une manière durable le dehors de ceux qui se trouvent renfermés dans l'épaisseur de cette terre.

On peut encore confirmer dans ces plaines les observations que j'ai faites dans le **Piémont** (S. 1317), sur le peu d'épaisseur de la terre végétale.

La route de **Lyon** laisse à gauche la ville de **Valence**, bâtie dans une situation avantageuse sur la rive escarpée du **Rhône**, et on voyage ensuite dans une plaine toute couverte de *cailloux* de divers genres, et surtout de ceux de l'**Isère**, que l'on traverse dans un bac a une lieue de **Valence**.

Cailloux roulés de l'Isère.

S. 1572 *bis*. Je m'arrêterai quelques moments à décrire les cailloux roulés les plus remarquables de l'**Isère**. Comme elle prend sa source dans les Hautes-Alpes, et qu'elle reçoit le tribut des eaux de divers torrents qui en viennent aussi, ces *cailloux* présentent, jusqu'à un certain point, une collection faite par la nature de la lithologie de cette partie du **Dauphiné**.

Variolite du Drac.

1° Le plus caractérisé de ces cailloux est une *roche glanduleuse à grains blancs*. On a donné à cette roche le nom de *variolite du Drac*, parce que le **Drac**, torrent qui se jette dans l'**Isère** un peu au-dessus de **Grenoble**, en charrie une très-grande quantité.

Cailloux arrondis par le frottement.

Ces *cailloux arrondis par le frottement* paraissent au dehors, les uns d'un gris tirant sur le violet, les autres d'un gris verdâtre, d'autres enfin d'un assez beau violet, qui tire sur le rouge, avec des taches le plus souvent blanches, d'autres vertes, et quelques cavités produites par la destruction de la matière qui formait ces taches.

Je parlerai d'abord de ceux qui sont d'un gris violet ou rougeâtre. Leur surface extérieure paraît à l'œil et au tact, assez unie, sans être précisément douce au toucher, mais quand on la voit de près ou à la loupe, on reconnaît qu'elle est inégale et qu'elle a un aspect terreux et sans éclat. Au dedans, la cassure montre d'abord que la pâte même de la pierre est une substance composée; on y distingue des parties lamelleuses à lames planes, blanches, brillantes, demi-transparentes, dispersées sur un fond brun, dont la surface paraît ici un peu écailleuse, là terreuse sans éclat, et partout opaque. Ce fond brun est demi-dur, se raie en gris, donne après le souffle l'odeur de l'argile, et se fond au chalumeau en un verre noirâtre fortement attirable à l'aimant, tandis que la pierre crue ne l'est pas. Ce même fond n'a aucune apparence schisteuse ni lamelleuse. C'est donc certainement le même genre de pierre que, d'après **Wallerius**, j'ai nommé *pierre de corne*. Mais je crois aussi reconnaître cette pierre dans la *wake* de **M. Hausten** (*Hœpfner Ma-*

gazin, t. III, p. 233), et il dit lui-même que ce qu'il décrit sous le nom de *wake*, ressemble beaucoup à la pâte de quelques pierres glanduleuses [1].

Les parties lamelleuses et brillantes que renferme cette pâte sont, les unes du *spath calcaire*, que l'acide nitreux fait disparaître, les autres des cristaux très-minces et très-allongés, qui présentent des lames planes brillantes, perpendiculaires aux grandes faces des cristaux, et qui, soit par cette forme, soit par leur fusibilité, prouvent qu'ils sont de *feldspath*. La pâte de cette *variolite* est donc une *wake* ou une *pierre de corne* compacte qui contient des cristaux de *spath calcaire* et de *feldspath*. Les *variolites* à pâte verdâtre ont essentiellement la même composition; seulement cette pâte paraît un peu plus dure, et sa cassure plus écailleuse. Les grains que renferment ces différentes pâtes, sont ou arrondis, ou ovales, ou amygdaloïdes; les plus grands ont un pouce de diamètre, mais il est rare de les voir de cette taille; leur grosseur la plus ordinaire est celle d'un pois, et ils descendent de là jusqu'à celle d'un grain de mil. La plupart sont d'un *spath calcaire blanc*, ou légèrement teint de couleur de chair; leurs parties discernables sont des lames rhomboïdales, planes et brillantes. La structure de ces grains n'a donc aucun rapport avec celle des cellules qui les renferment, puisqu'ils ne sont composés ni de couches concentriques à ces cellules ni de rayons convergents à leur centre.

Mais lorsqu'on a fait dissoudre dans l'acide nitreux la partie calcaire de ces grains, on voit quelques-unes de leurs cellules tapissées de cristaux blancs d'une tout autre nature. Ces cristaux ont la forme de ceux qu'on nomme en *crête de coq;* ce sont des arêtes saillantes appliquées aux parois de la cellule, et chargées de cristaux brillants extrêmement petits. Cette forme et leur fusibilité les placent dans le genre du *quartz*. Les grains verts que renferment quelques-unes de ces pierres sont plus petits et plus rares que les blancs, et sont de la nature de la *stéatite*, quelques-uns aussi sont de la *terre verte de Vérone* (*Grünerde* de Werner).

[1] S. **M. de Faujas** la considère comme un trapp, de même que **M. de Dolomieu**, dans sa savante dissertation (*Journal de physique*, t. Ier, pl. Ire, p. 258, note). Pour moi, je crois pouvoir me passer de la dénomination de **trapp** dans l'ordre des pierres simples et devoir la réserver pour un genre de pierres composées.

S. 1573. On voit aussi dans ces *variolites* des veines d'une *stéatite* qui présente là tous les caractères de la *stéatite lamelleuse*, très-bien décrite par **M. Karsten** (dans le *Museum Leskianum*, t. II, p. 214), sous le nom de *blœttriger Speckstein*. J'ajouterai qu'elle se durcit beaucoup au feu, et que ses angles se fondent avec peine au chalumeau en un verre gris verdâtre, demi-transparent. On trouve aussi dans ces pierres, quelquefois dans le même morceau, la *stéatite* sans aucune apparence de forme schisteuse ni lamelleuse. Là, sa cassure est compacte, parfaitement unie, sans aucun grain, et son éclat faible, mais doux et uniforme. On voit cependant de loin en loin quelques écailles qui paraissent demi-transparentes et d'un vert clair sur leurs bords, tandis que le fond moins écailleux est d'un vert presque noir. Elle durcit au feu, y devient rougeâtre, et se fond plus difficilement que la feuilletée. Quelquefois aussi la *stéatite* ne fait que recouvrir les grains blancs, qui sont purement *calcaires* dans leur intérieur. Stéatite lamelleuse.

S. 1574. C'est à **M. le chevalier de Lamanon** que l'on doit la connaissance des montagnes dont ces variolites sont les débris. Il regardait ces pierres comme des laves, et il fut bien confirmé dans cette opinion, lorsqu'il vit dans les rochers où elles ont leurs sources, des colonnes polyèdres, taillées par la nature, en forme de basaltes. L'annonce d'un volcan éteint, découvert au milieu des **Alpes du Dauphiné**, fit avec raison une grande sensation parmi les naturalistes de cette province, et comme on n'avait vu ni *lave* ni aucune autre production *volcanique* dans les Alpes du Dauphiné, et que d'ailleurs ces *variolites* ne paraissaient pas avoir les vrais caractères d'une *lave*, on résolut d'aller vérifier sur les lieux les bases de l'assertion de **M. de Lamanon.** Ainsi, avec un zèle vraiment admirable, bravant les intempéries d'une saison déjà avancée pour une expédition de ce genre, **M. Prunelle de Lierre**, **L. Villars**, le célèbre botaniste, le **P. du Croz**, savant bibliothécaire, partirent ensemble pour ce voyage, le 28 octobre 1783. Je ne rapporterai point le détail de leurs observations. **M. Prunelle** en a fait un rapport très-intéressant dans le *Journal de physique de 1784*, t. XXXV, p. 174. Il me suffira de dire que ces savants naturalistes trouvèrent à une hauteur de 1200 à 1400 toises au-dessus de la mer, la pierre *variolite* reposant sur une base de *granit* Rochers d'où viennent ces variolites.

feuilleté et disposée par des couches régulières, qui faisaient avec l'horizon des angles de 50 degrés. Ces couches sont coupées par des veines de *spath* qui, décomposées en quelques endroits, ont laissé en place des espèces de prismes irréguliers, que l'on a pris pour des *colonnes basaltiques*. De toutes ces observations, tant générales que particulières, **M. Prunelle** conclut que la *variolite du Drac* n'est point une *lave*, mais une pierre formée par un mélange simultané de cristallisation et de dépôts; je suis absolument de son avis.

Variétés de cette roche.

S. 1575. I. Une variété bien remarquable de cette pierre, dont j'ai trouvé des échantillons sur les bords du **Drac**, et qui n'a pas non plus échappé à **M. Prunelle**, c'est celle dont le *spath calcaire* forme le fond, tandis que la partie brune forme les grains.

J'en ai aussi trouvé dont les cellules ne renferment que du *quartz* sans aucun mélange de *spath calcaire*. De ces cellules, les unes sont pleines, les autres vides, avec leurs parois tapissées de pyramides de *cristal de roche*. La pâte de cette variété est plus dure, l'acier en tire quelques étincelles; sa nature est cependant essentiellement la même.

Variolites à base de pétrosilex.

S. 1576. II. Mais on trouve encore au bord de l'**Isère** des *variolites* ou *roches glanduleuses* qui paraissent d'une nature différente de celle du **Drac**; l'une a une pâte de *pétrosilex brun*, écailleux et dur, mélangée de très-petits cristaux allongés de *feldspath* et de lames de *fer spathique*. Les glandes, qui ont de 1 à 4 lignes de diamètre, sont, les unes, savoir les plus petites, entièrement de *spath*, et les autres ont leur noyau de *spath calcaire blanc*, enveloppé de *fer spathique* jaunâtre qui tapisse les parois des cellules.

Variolites à base de hornblende.

S. 1577. III. Une autre *variolite* des bords de l'**Isère** a une pâte de *hornblende lamelleuse* à lames planes, brillantes, souvent un peu striées, d'un noir terne tirant sur le vert. Dans cette pâte sont parsemées quelques lames de *feldspath* et même quelques parties *calcaires*, qui font avec les acides une effervescence passagère, mais qui sont trop petites pour que l'œil puisse apercevoir les vides qu'elles laissent après leur dissolution.

Les glandes d'une ou deux lignes de diamètre sont, les unes arrondies, les autres tendant un peu à la forme rhomboïdale: elles sont d'un blanc sale, pointillé de vert, surtout vers le centre. Leur matière est du *feldspath grenu* ou confusément cristallisé. Les points

verts sont de *hornblende*. On y voit aussi quelques glandes, dont la cassure présente une substance très-brillante, translucide, d'un jaune citrin, qui dans quelques places paraît grenue, et dans d'autres offre au microscope des surfaces parfaitement lisses, brillantes et conchoïdes. Cette substance bouillonne très-promptement à la flamme du chalumeau, s'y boursouffle et se change en une scorie noire, qui demeure ensuite très-réfractaire. Ces caractères paraissent convenir au *schorl vert* ou *delphinite*.

Cette pierre contenait donc tous les matériaux du *granit oculé de Corse* (S. 1479), et même déjà une disposition à la forme glanduleuse. Il ne lui a manqué que plus de régularité dans la cristallisation pour produire cette belle et singulière roche.

S. 1578. IV. Ce *porphyre* a pour base un *pétrosilex* d'un gris verdâtre très-écailleux, à écailles grandes et petites, presque demi-transparentes. Ce *pétrosilex* donne des étincelles contre l'acier, mais se laisse rayer en gris et entamer à la lime. Il blanchit et se fond au chalumeau en un verre bulleux. Cette pâte forme au moins les neuf dixièmes de la pierre, et ne renferme qu'un petit nombre de petits cristaux allongés et rhomboïdaux de *feldspath*, d'un gris blanchâtre, qui se distinguent à peine du fond de la pierre. Porphyre glanduleux.

Mais outre ces cristaux, cette pâte renferme encore quelques grains arrondis d'une à deux lignes de diamètre. Le centre de ces grains est de *quartz*, ou du moins d'une pierre transparente, sans couleur, dure, réfractaire, à cassure lisse, brillante et conchoïde. Ces grains sont renfermés dans des cellules dont les parois intérieures sont tapissées d'une matière grise, tendre, un peu écailleuse, qui fait une vive effervescence avec les acides, et où l'on distingue ensuite les pores irréguliers qu'occupait la matière calcaire. La présence de cette matière dans le *porphyre* dur est un phénomène assez rare.

Cette pierre est encore remarquable en ce qu'elle a des fentes qui la traversent de part en part, et qui sont remplies de *pétrosilex*, le même qui forme la pâte du *porphyre*, mais qui a pris là une forme schisteuse, à feuillets très-minces et un peu ondés.

S. 1579. V. La pâte de cette roche est un mélange de *mica noirâtre*, très-brillant et de petites parties de *jade vert*. Dans cette Roche à glandes de jade.

pâte sont renfermés des grains d'un *jade* vert glauque, très-bien caractérisé, et quelques cristaux de *hornblende* grise et réfractaire.

Porphyre à base d'argile.

S. 1580. VI. Extérieurement la pâte de ce *porphyre* est d'un brun jaunâtre et un peu rude au toucher. Dans sa cassure, si on la distingue soigneusement des parties étrangères qu'elle renferme, on verra qu'elle est terreuse, opaque et de couleur de rouille. Elle est assez tendre, se raie facilement, et la raie est à peu près de la même couleur. Elle exhale assez fortement l'odeur de l'argile. Au chalumeau cette pâte est très-réfractaire, et se couvre cependant d'un émail noir et brillant qui la rend attirable à l'aimant. Cette pâte est donc indubitablement une *argile ferrugineuse.*

Les cristaux qu'elle renferme sont aussi très-remarquables. Les grands ont jusqu'à dix lignes de longueur sur sept à huit de largeur. Leur forme est généralement rhomboïdale; on en voit cependant d'émoussés et d'irréguliers. Leur cassure est lamelleuse; cependant elle présente un mélange de parties, les unes blanches, presque opaques, écailleuses comme du *quartz gras*, les autres conchoïdes, transparentes, donnant au soleil, et même au grand jour, les couleurs de l'*opale.* Toutes ces parties sont à peu près aussi réfractaires que du *quartz.* Ces mêmes cristaux sont disséminés en très-petites parties dans la pâte brune et terreuse qui forme le fond de cette pierre.

Porphyre tendre.

S. 1581. VII. Une *pierre de corne* verte, tendre, à cassure inégale et presque terreuse, forme la base de ce *porphyre.* Les grains sont de petites masses arrondies de *feldspath fauve* qui tombe en décomposition, dont la cassure est presque terreuse, et dont on reconnaît à peine la structure.

Porphyre gris.

S. 1582. VIII. C'est un *pétrosilex* qui forme la base de ce *porphyre.* Ce *pétrosilex* est gris, homogène, sa cassure est très-écailleuse, et ses fragments minces sont presque demi-transparents. Il est plus que demi-dur, donnant quelques étincelles contre l'acier. Il renferme beaucoup de cristaux de *feldspath sec*, irréguliers dans leur forme générale, mais composés de lames bien caractérisées. Leur couleur est d'un blanc grisâtre, mais on en voit quelques-uns d'un beau noir.

Porphyre à cristaux parallèles.

S. 1583. IX. J'ai trouvé aussi au bord de l'**Isère** un *porphyre* absolument semblable au précédent, soit pour la pâte, soit pour les

cristaux; mais la plupart des cristaux allongés sont situés parallèlement les uns aux autres, ce qui prouve une tendance à la forme schisteuse que n'a point le précédent. D'ailleurs, le tissu de la pâte ne donne aucun indice visible de cette tendance.

Ces passages nuancés de la classe des *roches en masse* à celle des *roches feuilletées*, sont intéressants pour la théorie, surtout quand c'est précisément le même genre de pierre.

S. 1584. X. Celui-ci est décidément schisteux; sa pâte est un mélange de petites lames de *hornblende noirâtre* et de petits cristaux confus de *feldspath blanc*. La cassure de la pierre montre à un œil attentif, un tissu schisteux, à schistes droits, mais dont les feuillets sont inséparables. Les grains enfermés dans cette pâte sont des cristaux de *feldspath sec*, blancs, situés presque tous dans la direction des feuillets du schiste. Schiste porphyrique.

S. 1585. XI. Cette pierre roulée présente au dehors une surface assez unie et presque douce au toucher, d'un vert glauque tirant sur le gris, avec des veines ramifiées, les unes blanches, les autres jaunâtres; sa cassure est schisteuse, à schistes droits, mais cohérents entre eux; il faut même de l'attention pour reconnaître sa structure: elle est écailleuse, brillante et d'un vert plus foncé que l'extérieur. Le fond de la pierre est une *hornblende lamelleuse* dont les parties discernables sont de très-petites lames planes, brillantes, sans forme déterminée. Dans cette pâte sont disséminées de très-petites lames de *feldspath* et quelques parties *quartzeuses*. Les veines jaunes qui parcourent la pierre sont de la *delphinite* confusément cristallisée, et les blanches sont du *quartz* mêlé çà et là de quelques parties de *feldspath*. Roche de corne mélangée.

S. 1586. XII. Le *schiste* composé de *hornblende* et de *feldspath*, est très-commun sur les bords de l'**Isère**, et cela n'est pas extraordinaire, puisqu'il y en a et que j'en ai vu même des montagnes entières dans le Dauphiné. La fameuse mine d'argent de **Challanches**, dans laquelle je suis descendu, est dans une montagne de ce genre. Les variétés de cette roche sont extrêmement nombreuses; on en voit à feuillets singulièrement contournés ou fléchis en zigzag. On en trouve à feuillets épais, d'autres à feuillets aussi minces que du papier. Dans quelques variétés les feuilles de *hornblende* pure et colorée alternent avec des feuillets de *feldspath* blanc Schiste de hornblende et de feldspath.

et pur; dans d'autres enfin, les feuillets sont interrompus ou abruptement, ou par gradations. On y voit aussi fréquemment des nœuds ou rognons de *feldspath* blanc, confusément cristallisé, et souvent mêlé de parties *quartzeuses*. Il est curieux d'observer, quand ces nœuds sont de formes irrégulières, l'exactitude avec laquelle les feuillets schisteux suivent tous les contours de ces nœuds et forment autour d'eux des espèces de fortifications.

La *hornblende* varie par sa couleur; ici, noire et brillante, là, tirant sur le vert; là, brune ou grise; sa forme présente quelquefois des cristaux assez réguliers, surtout dans le schiste dont les feuillets sont droits; et d'autres fois des lames minces, presque aussi luisantes que du *mica*, sans aucune apparence de forme régulière. Elle est aussi plus ou moins fusible au chalumeau.

Le *feldspath* varie aussi par sa couleur blanche plus ou moins pure, et tirant quelquefois sur le vert ou le rose, et par sa forme, qui tantôt présente des lames rhomboïdales assez régulières, tantôt une cristallisation tout à fait confuse en petites masses grenues, comme le *marbre statuaire*. On le voit aussi quelquefois, dans les feuillets comme dans les nœuds, mélangé d'un peu de *quartz*. Le *feldspath* qui entre dans la composition de ce *schiste* est communément de l'espèce que j'ai nommée *feldspath sec;* j'en ai pourtant vu, mais un seul morceau, dont le *feldspath* était gras.

Schiste grenatique. S. 1587. XIII. Le *schiste de hornblende et de feldspath* renferme aussi quelquefois des *grenats*. Ceux que j'ai vus sur les bords de l'**Isère** étaient d'un rouge terne, informes et mélangés des deux substances qui formaient la pâte même de ce schiste.

Granitelle. S. 1588. XIV. On trouve aussi sur les bords de cette rivière la *hornblende* et *le feldspath*, réunis sous une forme qui n'est point schisteuse, et composant alors des *granitelles*. J'en ai vu dont le *feldspath* était couleur de chair, et la *hornblende* d'un noir verdâtre; ceux-ci étaient assez durs; mais d'autres, très-tendres, étaient composés de *feldspath rouge*, et de *hornblende d'un gris* tirant sur le vert.

Jade et smaragdite. S. 1589. XV. J'y ai trouvé enfin, le *granit de jade* et de *smaragdite* parfaitement semblable à celui des *cailloux de la Durance* (S. 1539 M.).

S. 1594. On trouve outre cela, parmi les cailloux roulés de la **Crau**, *des pierres calcaires*, diverses espèces de *silex*, de *pétrosilex*, de *granit ordinaire*, des *schistes de hornblende* semblables à ceux de l'**Isère** (S. 1586), des *serpentines*, et enfin des *variolites de la Durance* (S. 1539 A.). Mais ces dernières y sont si rares, qu'en trois heures de marche je n'en rencontrai que deux. J'en avais vu une très-remarquable chez **M. de Lamanon**; sa pâte était verte, et son grain d'un beau rouge; c'était la seule que **M. de Lamanon** eût trouvée de cette sorte, et ce fut en vain que j'en cherchai une semblable. Autres cailloux.

S. 1595. Maintenant si l'on compare l'énumération que je viens de faire des cailloux les plus remarquables de la **Crau** avec celle que j'ai faite dans le chap. XXVIII de ceux de la **Durance**, on trouvera bien peu de rapports entre eux. Ce n'est pas que je ne croie ce qu'affirmait **M. de Lamanon**, qu'à force de recherches il était parvenu à trouver dans la *Crau* des échantillons de tous les cailloux que l'on trouve dans la *Durance*. Mais cela ne suffit pas pour qu'on puisse affirmer que les cailloux de la *Crau* ont été accumulés par la *Durance;* il faudrait encore que les mêmes espèces se trouvassent dans les mêmes proportions. Or c'est ce qui est absolument contraire au fait. Car premièrement, ces *quartz* ou *grès* durs, qui forment, comme je l'ai dit, la très-grande pluralité des cailloux de la *Crau*, ne dominent point sur les bords de la *Durance;* ensuite les *variolites*, si communes sur les bords de la *Durance*, sont très-rares dans la *Crau*. Enfin, ces *porphyres à cristaux de feldspath*, dont j'ai trouvé tant de variétés dans le lit de la *Durance*, sont si rares à la *Crau*, que je n'y en ai pas aperçu un seul. Et en revanche, j'ai trouvé dans la *Crau* des espèces que je n'ai point vues sur les bords de la *Durance*. En somme, je ne crois pas que les cailloux analogues à ceux de la *Durance* fassent la seizième partie de ceux de la *Crau*. Ces cailloux ne viennent ni de la Durance ni du Rhône.

Ce n'est point là l'unique objection que j'aie contre cette opinion. Je dirai de plus qu'il me paraît impossible qu'un courant aussi peu considérable que celui de la *Durance* ait pu, non-seulement charrier, mais encore niveler ces cailloux sur toute la surface d'une plaine qui a vingt lieues carrées d'étendue. Les fleuves et les torrents peuvent, jusqu'à un certain point, niveler les terrains qu'ils

inondent, en y répandant du limon ou du sable, parce que ce limon et ce sable demeurent suspendus dans leurs eaux, mais les grosses pierres ne s'accumulent point avec cette uniformité, par l'impulsion d'un courant d'une aussi petite étendue.

J'ajouterai enfin que les *cailloux* de la *Crau* sont généralement plus gros que ceux de la *Durance*. La plupart de ceux que l'on voit à la surface de cette plaine, sont gros comme la tête d'un homme, et on en voit même de la grosseur d'une tête de cheval. M. de Lamanon avait déposé dans son cabinet un caillou de *quartz* de cette taille et à peu près de cette forme, comme un exemple du volume que les *cailloux* de la *Crau* peuvent atteindre.

Les mêmes arguments, quoique bien moins forts, contre le *Rhône* que contre la *Durance*, m'empêchent aussi de regarder ce fleuve comme le véhicule des *cailloux* de la *Crau*.

Cause plus probable.

S. 1596. Ici donc encore je reviens à la débâcle qui se fit au moment où les eaux de la mer abandonnèrent nos continents et se portèrent avec une extrême violence vers les lieux les plus bas où s'étaient ouverts les gouffres qui les engloutirent. Ce courant resserré d'abord entre les montagnes du *Vivarais* d'un côté, et celles du *Dauphiné* et de la *Provence* de l'autre, se dilata aux approches de la Méditerranée, où ces montagnes s'abaissent et s'écartent; alors il déposa les cailloux qu'il entraînait, et ces cailloux furent nivelés, soit par le courant même qui les déposait, soit par la mer dans laquelle ce courant venait se dégorger. Et comme ce torrent descendait dans le même temps par les gorges de toutes les montagnes, il n'est pas étonnant de trouver dans les cailloux qu'il roulait un mélange de toutes les pierres dont ces montagnes sont composées.

De Beaucaire au pont du Gard.

S. 1605. Sur la route de *Beaucaire* au pont *Saint-Esprit*, on voit tout près de la ville paraître au jour des *rochers calcaires*. On voyage ensuite entre des collines qui sont aussi *calcaires*. Mais on en sort pour se rapprocher du *Rhône*. La route, tant qu'elle le côtoie, est charmante: son courant se divise, forme des îles souvent cultivées, au moins toujours boisées. On le quitte à regret pour serpenter entre des collines de la même nature que les précédentes.

Collines sans cailloux roulés.

C'est une chose bien remarquable, que tant qu'on voyage entre ces collines, on ne voit que des *débris calcaires* de ces mêmes collines, et point de *cailloux roulés* qui leur soient étrangers. Cela

prouve bien que le torrent de la débâcle avait beaucoup perdu de sa force en se dilatant dans les plaines, puisque non-seulement il ne charriait plus de grands blocs de *roches primitives*, dont on ne voit aucun dans tout ce pays, mais qu'il ne pouvait pas même soulever du gravier par-dessus des collines qui n'ont que 300 ou 400 pieds (100 à 130 mètres) de hauteur. Près des Alpes, au contraire, on trouve jusqu'à 200 ou 300 toises (400 à 580 mètres) d'élévation, des *blocs énormes* charriés par cette débâcle.

Cailloux roulés et anguleux du Gardon.

S. 1606. Le **Gardon** roule des cailloux détachés des montagnes des **Cévennes**, où il a sa source, des *granits*, des *roches schisteuses* etc. Le morceau le plus remarquable de ceux que j'y ramassai est une espèce de *poudingue* dont la surface extérieure, *usée par le frottement*, est d'un brun presque noir, un peu luisante, assez douce au toucher et assez froide. On y voit des fragments tous *anguleux*, les uns de *quartz blanc* ou jaunâtre, les autres d'un *schiste* composé de feuillets alternatifs de ce même *quartz* et de la pâte brune qui forme le fond du *poudingue*.

Cette pâte, dans sa cassure, paraît d'abord homogène, d'un brun tirant sur le gris, à très-petites écailles, et d'un éclat scintillant; mais quand on l'observe avec une forte loupe, on voit qu'elle est composée d'un mélange de grains, les uns blancs, brillants, lamelleux, les autres d'un brun foncé et sans éclat. Lorsque la pierre a été chauffée, mais pourtant pas au point de couler, ces grains paraissent encore plus distincts; ils sont alors tous fondus, mais séparément, luisants et arrondis; on reconnaît que les blancs sont du *feldspath*, et les bruns de la *hornblende terreuse*. Un coup de feu plus vif confond tous ces grains, boursouffle la pierre, et la réduit en une scorie brune, attirable à l'aimant. Cette pierre est dure, donne beaucoup d'étincelles, et une pointe d'acier y laisse sa propre trace.

Blocs alpins. Route de Tain à Vienne.

S. 1627. Je trouvai sur la route de **Tain** à **Vienne**, près d'**Auberive**, des excavations considérables que l'on avait faites pour en tirer du gravier. J'entrai dans une de ces excavations: je vis là les *cailloux roulés* reposer sur un fond de sable; mais c'était du sable ordinaire qui n'était point le beau sable blanc d'*Auberive*. Et ce qui m'étonna beaucoup, ce fut de trouver entre le sable et les cailloux, un *bloc énorme* d'un rocher dont j'ai perdu les échantillons, et que je

désignais seulement sous le nom de *roche primitive dure*. On la brisait pour employer ses fragments à la construction d'un pont que l'on devait établir dans le voisinage.

C'est ainsi, comme je m'en plaignais ailleurs, que l'on détruit ces curieux vestiges des révolutions de notre globe. Il était d'autant plus remarquable, que c'est le seul que j'aie vu de cette grandeur dans cette partie de la France. Mais, et celui-là, et ceux que j'avais vus au-dessus du sable blanc d'*Auberive*, prouvent qu'il a passé là un courant considérable qui probablement descendait des *Alpes du Dauphiné*.

Derniers rochers entre Vienne et Lyon.

S. 1642. En sortant de *Vienne*, on suit un très-beau quai sur le *Rhône*, dans une situation charmante.

La colline à droite, dont on voit la coupe, présente des *cailloux roulés*, mais ces cailloux reposent vraisemblablement sur le *granit*, du moins voit-on celui-ci reparaître au jour à dix minutes de *Vienne*. On monte ensuite une haute colline dont la plus grande partie est composée du même genre de *roche primitive:* mais vers le haut de cette colline, on retrouve les *galets*, et dès lors jusqu'à *Lyon*, on ne voit plus de rochers qui aient été formés sur la place qu'ils occupent.

Cailloux roulés. Sable. gravier.

S. 1643. On voyage pendant quelque temps sur un plateau ondoyant qui couronne la colline. Ce plateau est couvert de *cailloux roulés*, presque tous *quartzeux*.

Saint-Symphorien d'Ozon.

De ce plateau l'on descend dans un vallon, puis on monte une *colline de sable* que l'on redescend pour venir à la poste de *Saint-Symphorien d'Ozon*. On passe ensuite une haute colline, dont la coupe, quoique profonde, ne montre que sable et gravier. On traverse encore deux collines semblables, et la dernière, par laquelle on descend dans la plaine de *Lyon*, présente dans sa coupe des *amas immenses de sable, de gravier et de cailloux*, ici libres, là unis en forme de *poudingues grossiers*. En faisant cette descente, on a une charmante vue sur les environs de Lyon, sur les bords du Rhône, relevés par des collines en amphithéâtre, qui sont décorées par une foule de jolies maisons de campagne. La poste de *Saint-Fond*, la dernière avant d'arriver à Lyon, est située dans la plaine, qui continue sans interruption jusqu'à la ville. On fait ainsi en quatre ou cinq heures la route de *Vienne* à *Lyon*.

S. 1645. Lorsqu'on sort de **Lyon** pour aller à **Genève**, on côtoie d'abord le *Rhône* par une très-belle route, coupée il y a environ vingt ans dans la colline qui borde ce fleuve. La coupe de cette colline ne présente d'abord que du *sable et du gravier*, de différents degrés de finesse, *disposés par lits*, la plupart horizontaux, dont cependant quelques-uns sont inclinés, d'autres rompus et même moirés ou chinés. Il s'y mêle ensuite des *cailloux roulés*, la plupart *quartzeux*. Sortie de Lyon, colline de sable.

On monte de là à **Mirebel**, d'où l'on vient à **Mont-Luel**, et de là jusqu'au pied de **Cerdon**, au travers des villages de **Meximieux**, **Saint-Denis**, **Ambronay**, **Saint-Jean-le-Vieux**, constamment dans des plaines couvertes de *cailloux*, et souvent en si grande quantité qu'ils empêchent la culture des terres. Les *quartz* ou les *grès durs*, *quartzeux*, sont l'espèce dominante; on y voit cependant quelques *cailloux des Alpes*, comme des *schistes micacés*, des *schistes de hornblende*, des *serpentines*. Cependant lorsqu'on traverse le lit de quelque torrent ou de quelque rivière qui vient des montagnes voisines, on y voit dominer les *pierres calcaires*.

S. 1663. Le lendemain, 6 juillet, je partis du *Zweisimmen*. A une demi-lieue de ce village on laisse à sa droite un *monticule calcaire* assez élevé et entièrement isolé au milieu de la vallée. Sans doute il a présenté aux causes qui ont creusé cette vallée plus de résistance que les autres montagnes qu'elle renfermait. Celles qui la bordent actuellement sont composées d'*ardoises* et *d'autres schistes argileux gris*, tendres, luisants et non effervescents. De Zweizimmen à Erlenbach.

Avant d'arriver à **Weissenbach**, qui est à une lieue et demie de **Zweisimmen**, on rencontre de grands entassements de lits irréguliers de *sable et de cailloux agglutinés entre eux*. Je ne pus y distinguer aucun *caillou primitif*[1], et en général, depuis le *passage du Jaman* (S. 1659), je n'ai vu dans toutes ces vallées aucun *caillou roulé* qui n'appartînt aux montagnes du voisinage, et qui, par conséquent, ne fût de *formation secondaire*. On vient ensuite à **Boltigen**, en trois petits quarts d'heure depuis *Weissenbach*, et de là en un quart d'heure à **Oberwyl**. Avant d'arriver à ce dernier vil- Nul caillou primitif.

[1] D. A. En juin 1861, montant de Wimmis au sommet du Niesen (2374 mètres altitude), je n'ai vu que de la roche en place. Depuis la base jusqu'au sommet on ne rencontre point de matériaux erratiques.

lage on passe sur une hauteur. On voyait de là l'extrémité de la vallée de *Simmenthal* qui se termine au *lac de Thun*, et les sommités des montagnes couvertes de neige au delà de ce lac. *La vapeur bleue*[1] quoique moins dense que le jour de mon départ, était cependant encore très-sensible. On jugeait avec certitude combien elle était plus dense auprès de l'horizon qu'à des hauteurs plus considérables. En effet, je ne pouvais point distinguer ni même apercevoir le pied de ces montagnes, quoique je visse distinctement leurs cimes. Cependant ces cîmes étaient éloignées de moi beaucoup plus que leurs bases.

Granits arrondis dans le bas, aigus dans le haut. Bassin des glaciers de l'Aar.

S. 1707. J'eus aussi beaucoup de satisfaction à voir que les vraies cimes de ces hautes montagnes du bassin des glaciers de l'Aar sont terminées, comme à *Chamounix*, par des créneaux à angles vifs, et par des formes hardies et prononcées. L'excellent naturaliste qui m'a fait l'honneur de traduire en allemand les volumes précédents de ces voyages, tandis qu'il aurait pu avancer bien plus les progrès des sciences en publiant ses propres ouvrages, avait élevé des doutes sur cette forme des *montagnes granitiques*. J'étais étonné moi-même, lorsque je voyais la forme émoussée des petites montagnes du *Grimsel*, et les portions de cylindre et de sphère que l'on rencontre dans les *granits* de ce passage (S. 1689).

Mais de mon observatoire sur l'**Oberaar**, d'où je voyais distinctement les cimes de toutes ces montagnes et particulièrement de celles dont il est question au paragraphe S. 1689, je reconnus que ce n'étaient que les basses montagnes et les bases ou les parties inférieures des hautes, auxquelles l'action des pluies, des neiges, des glaces, des pierres même, glissant et roulant sur elles, a donné ces formes arrondies.

Je dois cependant ajouter que ces formes aiguës ne dépendent pas seulement de la nature de la pierre, mais aussi de la situation des couches de la montagne. En effet, on observe *ces mêmes formes dans les montagnes calcaires*, lorsqu'au degré de dureté dont elles sont susceptibles, elles réunissent une structure en couches verticales ou très-inclinées, et réciproquement, les *granits* les plus durs, lorsque leurs couches sont horizontales ou à peu près telles,

[1] D. A. Voy. *Météorologie*, vol. Ier, paragraphe S., *Brouillards secs*.

peuvent avoir des sommités *ou plates ou arrondies*, et nous en verrons des exemples dans ce même voyage.

S. 1709. Mon guide de l'hospice du *Grimsel* me proposa de me ramener par une route nouvelle, et je l'acceptai avec plaisir. Il me fit tirer à l'est et traverser les tristes et sauvages pâturages de l'**Oberalp**, qui, brûlés alternativement par le soleil et par la gelée blanche et étouffés par les lichens coralloïdes, se brisaient en craquant sous nos pieds. L'unique habitant de ces solitudes est la *perdrix blanche*, qui se nourrit des bourgeons du *Salix herbacea*, très-abondant dans ces prairies. Une de ces perdrix se leva sous nos pieds, de son nid construit sur la terre, sans autre abri qu'une pierre, au nord de laquelle il était placé. Ce nid renfermait huit œufs d'un brun clair, tachetés d'un brun plus foncé : j'eus bien soin d'empêcher qu'on ne les dérangeât. Retour à l'hospice du Grimsel.

Je ne vis dans ces pâturages élevés qu'une seule plante un peu rare, c'est l'*Anthericum serotinum*. **M. de Haller** fait observer avec bien de la raison, que l'épithète de tardive ne convient point à cette plante, puisqu'elle est une des premières à fleurir sur les terrains que la neige abandonne.

Au sortir de ces prairies, j'eus pendant près de deux heures à traverser des entassements de *blocs de granit*, dont plusieurs s'étaient détachés de la montagne dans le cours de cette même année. On reconnaissait très-bien les vides qu'ils avaient laissés. C'est une fatigue et un ennui, dont on a de la peine à se faire une idée, que de faire deux lieues de suite au travers de ces *grands blocs*, dont les faces planes, lisses et inclinées dans tous les sens, vous jetteraient, si le pied vous glissait, contre les angles tranchants d'un autre bloc; et où il faut ainsi avoir une attention continuellement soutenue, pour ne pas se casser les jambes ; cependant, quoique encore indisposé et bien fatigué, j'eus le bonheur de ne pas faire un faux pas. D'ailleurs, ces fragments ne présentent aucune variété intéressante; ce sont tous ou des *granits veinés ordinaires*, ou des *granits veinés* avec des *rognons de quartz*, comme ceux de *Valorsine* (S. 590).

J'avais sous mes pieds, dans cette route, la vallée de l'**Unteraar**, dans laquelle l'**Aar** serpente [1] et se divise de manière à former un

[1] D. A. Dans l'Aarboden.

point de vue très-agréable. Et comme j'allais du côté du **Grimsel**, ayant toujours les yeux fixés sur la chaîne qui borde son passage, je confirmai, et bien en détail, mon observation sur les *cimes crénelées et aiguës* de ces montagnes à *bases arrondies*, et je vis enfin que de l'*Hospice* même on en voit assez pour se convaincre de la justesse de cette observation.

Le glacier du Rhône a rétrogradé. Moraines.

S. 1722. Avant de terminer ce chapitre, je dois consigner ici une observation qu'a faite **M. Besson**, sur le *glacier du Rhône*, et qui m'avait échappé. J'ai souvent parlé des *cailloux et des rochers que les glaciers charrient*[1], qu'ils déposent ensuite sur leurs bords et à leur extrémité, et qui forment ainsi des espèces d'enceintes[2] *marquant les limites que les glaciers ont atteints*. **M. Besson** observa, en 1777, au bas du *glacier du Rhône*, trois de ces enceintes, dont l'une était à 34 toises (66^{m},2) de l'extrémité actuelle du glacier, l'autre à 85 toises (165^{m},6), et la troisième à 120 toises (233^{m},8). Il suit de là, qu'à trois époques différentes le glacier a reculé, et qu'il était alors diminué de 120 toises (233^{m},8). Les bergers assurèrent même à **M. Besson**, que depuis vingt ans il recule continuellement. Cette observation et ce rapport viennent à l'appui de ce que j'ai dit ailleurs ; *c'est que s'il y a des endroits où les glaciers s'avancent, il y en a d'autres où ils rétrogradent.*

Collines de débris. Vierzon à Cavaglia.

S. 976. De **Viveron** à **Cavaglia** on traverse de petites collines parsemées et même à ce qu'il paraît composées intérieurement de *blocs* et de *débris roulés* de divers genres, mais principalement de ceux qu'on nomme *primitifs*, de grandes masses de *granits* et de *roches feuilletées*, de *roches de corne*, toutes sans adhérence avec le sol qui les portait, mais reposant sur des amas de sable, de gravier, de *cailloux arrondis* et manifestement charriés et entassés par les eaux.

Dans un autre voyage, que j'ai fait de **Pavie** à **Yvrée**, j'ai vu que des collines semblables composées de débris, continuent jus-

[1] D. A. Sur leur dos, à leur surface.

[2] D. A. Moraines.

S. **M. Besson** nomme ces enceintes **marêmes**, mais il aura mal entendu nos Savoyards, le mot est **moraines**. Cette expression n'est pas française sans doute, mais elle est reçue dans toute la Suisse romande, la Savoie et le Lyonnais, où elle désigne une petite montagne ou la pente rapide d'une colline.

qu'à *San-Ja*, qui est à une bonne lieue de *Cavaglia ;* mais au delà de *San-Ja* l'on ne trouve plus que les plaines et les *sables de la Lombardie.*

S. 977. Du haut des collines que l'on traverse entre **Cavaglia** et **Yvrée,** ou mieux encore du haut de celle qui est entre *Yvrée* et les *Alpes*, on reconnaît parfaitement la route qu'ont suivie tous ces débris.

Route qu'ont suivie ces débris.

On voit, de ces hauteurs, l'entrée de la *vallée d'Aoste,* flanquée à l'est et à l'ouest de deux hautes montagnes. Celle du côté de l'est se nomme la montagne de *Saint-André.* Le pied de cette montagne sert de base ou de point d'appui à une haute colline, qui est en entier composée de *débris* de la *chaîne des Alpes*, et dont la hauteur diminue graduellement à mesure qu'elle s'en éloigne.

L'autre montagne qui, à l'opposite de celle de *Saint-André*, flanque à l'ouest l'entrée de la vallée d'Aoste, se nomme **Arnoun.** Sa base sert aussi de point d'appui à une colline moins élevée et moins régulière que la précédente, mais qui est aussi toute composée de *débris.*

Ces deux collines qui viennent, sous un angle d'environ 100 degrés, converger à l'entrée de la vallée d'*Aoste*, ne désignent-elles pas évidemment les bords du courant qui s'évasait en débouchant hors de cette vallée ? En effet, la résistance que les montagnes de *Saint-André* et d'*Arnoun* apportaient à la sortie des eaux, devait nécessairement produire sur les bords du courant un ralentissement, qui le forçait à déposer là une partie des corps qu'il entraînait dans son cours. Je ne sais si je ne me fais point illusion, mais il me semble qu'à moins d'avoir des attestations de témoins oculaires, on ne peut pas imaginer des monuments qui prouvent la vérité d'un fait avec plus d'énergie.

S. 978. Les faits déjà cités me paraissent démontrer que les *cailloux roulés* qui se trouvent dans les plaines septentrionales des Alpes, ont été charriés par des courants impétueux qui descendaient du haut de ces montagnes ; j'ai même désigné (S. 319), des collines formées comme celles que je viens de décrire, sur les bords du courant qui a charrié ces débris. Ce phénomène appartient donc aux deux côtés de la chaîne des Alpes, d'où il suit que, lors de cette grande dé-

Le phénomène des cailloux roulés appartient aux deux côtés des Alpes.

débâcle, les eaux se versèrent avec une égale furie des deux côtés de cette chaîne.

Cailloux roulés seulement au bord de la mer.

S. 1469. J'observai en montant à **Giens**, et j'ai depuis lors généralisé cette observation dans les environs d'**Hyères** et dans les îles, que dès qu'on s'élève à 8 ou 10 pieds au-dessus du niveau de la mer, on ne trouve plus du tout de *cailloux roulés*, mais seulement des *fragments anguleux* des rochers du voisinage. Ce fait est important et remarquable à divers égards.

Blocs de granit énormes et à angles vifs.

S. 1750. A une lieue en aval du *hameau Foppiano*, qui est le dernier habité par des allemands (route de *Formozza* aux îles *Borromées*), on rencontre un oratoire, et près de là des *blocs de granit veiné* entièrement détachés, à *angles vifs*, d'une grosseur énorme. L'un d'eux, auprès duquel passe la grande route, qui n'est ici qu'un sentier à mulets, est réellement effrayant par le *surplombement de celle de ces faces sous laquelle on est forcé de passer;* il semble qu'il doive de lui-même culbuter en avant et vous écraser; mais quand on l'a passé et qu'on voit la largeur de sa base, on comprend qu'il n'y a pas de danger.

Colline de terre et gravier. Saint-Branchier.

S. 1027. A une demi-lieue en aval de **Saint-Branchier** (route du *grand Saint-Bernard* à *Martigny*) le chemin passe au milieu d'une haute colline toute composée de *terre*, de *sable* et de *blocs de granit;* mais on n'y distingue rien qui puisse prouver que cette terre soit une terre végétale, ni qu'elle ait été déposée au fond de la mer dans un temps où les cimes des Alpes étaient des îles peu élevées au-dessus de cette surface (S. 679).

Colline de Genève.

S. 51. La colline sur laquelle *Genève* est située, est toute composée de lits à peu près horizontaux de *sable*, de *gravier* et d'*argile*. Elle a dû être anciennement jointe par sa base à celle de **Saint-Jean**, qui est de l'autre côté du **Rhône**; les lits horizontaux de la colline de *Saint-Jean*, coupés à pic vis-à-vis de la ville, paraissent en fournir la preuve. Mais le fleuve en creusant son lit a séparé les deux côteaux; et le lac, qui sûrement s'élevait jadis même pardessus leurs sommets, les a laissés à sec, et ne baigne plus que leurs pieds.

Structure des collines de Saint-Jean et de la Bâtie.

S. 54. A l'ouest de la ville de *Genève*, de l'autre côté de l'*Arve*, s'élèvent les côteaux de *la Bâtie* et de *Saint-Jean*, coupés à pic par le *Rhône* et l'*Arve;* on distingue les lits presque horizontaux de *sable*,

de *gravier* et *cailloux*, dont ces collines sont composées ; on les voit se prolonger à de grandes distances.

Mais l'amateur de lithologie voudra voir de plus près ces mêmes lits; il voudra passer entre le *Rhône* et le pied de ces collines, et aller, le marteau à la main, observer la nature de ces anciens dépôts.

En examinant de près ces *amas de cailloux*, on voit que leurs variétés sont presque innombrables; qu'ils sont *confondus sans aucun ordre*, que ce sont des débris de montagnes de tout genre, *arrondis* et mélangés par les eaux; que pour l'ordinaire les *cailloux aplatis* sont posés de plat; que les couches en se prolongeant changent souvent de nature, et souvent sont entremêlées de *lits de sable ou d'argile*.

Dans divers endroits, les cailloux sont liés entre eux par un *gluten calcaire* et forment des *poudingues* assez solides, comme à *Sous-terre*, à *la Bâtie*. Ordinairement c'est dans la partie la plus basse qu'ils sont ainsi *agglutinés*.

S. 55. Toute cette hauteur de 255 pieds (82^{m},8) est coupée à pic au-dessus du *Rhône*, dans un endroit qu'on nomme les *Roches de Cartigny*. Le terrain miné par des sources qui coulent entre les terres, a essuyé des éboulements considérables ; mais les parties les mieux liées se sont maintenues et forment çà et là des espèces de *tours ou de pyramides* irrégulières, d'une très-grande hauteur. Ces pyramides qui menacent ruine, vues du bord du précipice, forment un aspect sauvage et terrible, qui contraste singulièrement avec le charmant paysage que l'on voit de l'autre côté du *Rhône*.

Roches de Cartigny.

Tours.

Pyramides irrégulières.

Si l'on descend jusqu'au lit du *Rhône* en côtoyant ces escarpements, on voit que le terrain est composé : premièrement de *terre végétale;* ensuite de lits horizontaux, de *sable et de gravier;* puis de lits plus épais d'un *sable très-fin*.

Tous ces lits forment ensemble une épaisseur d'environ 60 pieds (19^{m},5), et sont suivis d'une *couche d'argile* presque indivise, épaisse d'environ 70 pieds (22^{m},7), et mélangée çà et là de *cailloux épars*.

Sous cette argile on trouve des lits de *sable*, de *gravier* et de *cailloux* qui forment entre eux les 125 pieds (40^{m},9) restant jusqu'au lit de la rivière. Dans la moitié supérieure de cet espace, les *cailloux* sont *libres* et *roulants;* mais dans la moitié inférieure

ils sont *liés* par un *gluten calcaire*, qui en forme une espèce de *poudingue*. On trouve quelquefois dans les interstices de ces pierres du *spath calcaire* confusément cristallisé en lames rectangulaires.

Fond horizontal de la vallée de Chamounix.

S. 608. En allant du **prieuré** au **Montanvert**, on commence par traverser obliquement le fond de la **vallée de Chamounix** à travers des prairies et des champs bien cultivés. On remarque l'horizontalité parfaite du fond de cette vallée et, partout où la terre est entr'ouverte, on voit que ces premières couches sont des lits horizontaux de *limon*, de *sable* et de *gravier*, d'où l'on doit conclure que l'*Arve* a couvert autrefois tout le fond de cette vallée, et a élevé ce même fond par l'accumulation de ses dépôts.

Amas de sable, de cailloux et de grands blocs roulés.

S. 1294. Peu après on passe sous la tour pittoresque, et ensuite par le village d'**Avigliana**, élevé, suivant l'observation de **M. de Luc**, de 189 toises ($368^{m},4$) au-dessus de la mer. La petite montagne pyramidale dont cette tour occupe le faîte, est composée de *serpentine*.

De la Novalèse à Turin. Avigliane.

C'est à peu près là que se termine la chaîne des montagnes qui borde le côté méridional de cette vallée; la chaîne septentrionale, de l'autre côté de la *Doire* se prolonge un peu d'avantage. Mais de là jusqu'à *Turin* on ne rencontre plus de montagnes proprement dites; les hauteurs sur lesquelles on passe en allant d'*Avigliana* à *Rivoli*, sont toutes des *collines tertiaires*, c'est-à-dire des *amas de sable*, de *cailloux* et de *grands blocs roulés*[1] qui ont eté dégorgés dans cette vallée par la grande débâcle dont j'ai souvent parlé. Ces collines mêmes se terminent au delà de *Rivoli*, et de *Rivoli* à *Turin* il n'y a plus que des plaines.

Forme des collines de débris. Avigliana et Rivoli.

S. 1295. Comme je désirais me former une idée distincte de la forme de ces *collines tertiaires*, je m'arrêtai dans mon dernier voyage à la poste de *Rivoli*; de là je montai au château, et du château à une chapelle qui est à l'ouest, et qu'on me dit porter le nom de *Saint-Gris*.

[1] S. Frappé de la grandeur d'un de ces blocs qu'on rencontre au delà de **Sainte-Ambroise**, j'eus la curiosité de le mesurer; je lui trouvai 50 pieds ($16^{m},2$) de longueur sur 20 à 30 pieds ($6^{m},5$ à $9^{m},7$) de hauteur, et 20 pieds ($6^{m},5$) de largeur, ce qui fait 24,000 pieds cubes (833 mètres cubes). Il est vrai que c'est une **serpentine dure**, et que la dernière lisière des Alpes étant de cette espèce de pierre, on peut supposer qu'elle ne vient pas de loin.

On a de là une vue très-belle et très-étendue sur les plaines du **Piémont.** Quant aux collines de débris que je venais observer, et dont fait partie celle de *Rivoli*, sur la cime de laquelle je me trouvais, elles paraissaient de là, former trois dos parallèles, qui courent à peu près de l'est à l'ouest, comme l'extrémité de la vallée d'où sortirent les matériaux dont elles ont été formées. En voyant ces collines, on croirait qu'elles vont s'appuyer contre le pied du *Mont-Picheriano*, dont la petite montagne de *Saint-Michel* fait partie; mais j'ai vu du haut de cette montagne (S. 1192), que ces collines sont séparées de son pied par une vallée qui renferme les petits *lacs d'Avigliana;* et c'est une particularité remarquable, car ordinairement les collines de ce genre s'appuient immédiatement contre le pied des montagnes qui terminent les vallées d'où sont sortis les matériaux dont elles sont composées. Il est vraisemblable qu'en sortant de la vallée de **Suze** le courant se partagea en deux branches, dont l'une passa du côté du sud, au pied du *Mont-Picheriano*, et l'autre suivit le cours actuel de la *Doire*, passa au pied du *Mont-Musinet*, et se répandit de là dans les plaines du *Piémont*. On voit dans les environs d'*Avigliana*, près de la place où le courant dut se partager, quelques *monticules de serpentine* demi-dure et semblable à celui sur lequel est bâtie la *tour d'Avigliana;* ce furent vraisemblablement ces monticules qui divisèrent le courant et qui, en ralentissant son cours, occasionnèrent les dépôts qui ont formé les collines situées entre *Avigliana* et *Rivoli*.

Mont de Sion. Blocs de granit.

S. 1158. Sur le haut de la colline du **Mont de Sion** (route de Genève à Annecy) on voit un grand nombre de *blocs de granit* étrangers à cette montagne, aussi bien que le *sable* et les *cailloux roulés* qui les accompagnent. Ils ont été transportés là par la grande débâcle; et comme on les voit beaucoup plus abondants du côté du sud-ouest, c'est une preuve que ce courant venait du nord-est, comme tout concourt d'ailleurs à l'établir.

Gorges creusées par les eaux. Mont-Salève.

S. 1160. On traverse ensuite une première bifurcation du *Mont-Salève*, par une gorge que domine le *château de Croisille*, situé sur un roc isolé, escarpé, composé d'assises *calcaires* et horizontales. On voit sur les flancs de ce roc, du côté de la grande route, plusieurs vestiges indubitables de l'action des eaux qui ont creusé cette gorge; *des sillons profonds et arrondis*, et des *trous circulaires* par-

faitement semblables à ceux que l'on voit sur les bords d'u rapide serré entre des rochers.

Deux observations du baromètre m'ont donné pour le *vill* *Croisille* 216 toises (421 mètres) au-dessus du lac de Genèv 408 toises (795 mètres) au-dessus de la mer.

Plaine abandonnée par le lac. Annecy.

S. 1164. En sortant d'**Annecy**, on se trouve dans une plaine horizontale, qui est la continuation de celle que l'o verse en venant du pont de *Progny à Annecy* (S. 1161). Il hors de doute que cette plaine a été abandonnée par le lac, celui-ci s'étendait anciennement beaucoup plus loin qu'il ne fa jourd'hui.

Grès en couches peu inclinées.

On traverse ensuite des collines dont la base est un *grès t* *argileux*, disposé par couches peu inclinées et couvert de *ca* *roulés* de tout genre.

Couches de sable et de gravier. Annecy.

S. 1165. Mais à une lieue et demie d'**Annecy**, en approch village d'**Albie** et en descendant vers le ruisseau nommé le **Ch** qu'il faut traverser pour aller à *Albie*, on voit sur la droite d min des couches de *grès* dont la situation est parfaitement ver

Je fus extrêmement étonné de trouver un *grès* dans cette tion, et d'autant plus que les premières couches de celui-c entremêlées d'un *gravier* dont les *grains arrondis* ont un po plus de diamètre, en sorte qu'il est indubitable que ces cc n'ont point été formées dans la situation qu'elles ont actuelle mais qu'elles ont été produites dans une situation horizontal peu près telle, et redressées ensuite par une cause postéri leur formation. Ces premières couches ont même ceci de r quable, qu'elles sont recouvertes sur le haut de la colline p couche horizontale de *sable* et de *cailloux* dont le mélange un *poudingue grossier*. Ce sable et ces cailloux ont été dépo les eaux.

En continuant de marcher vers *Albie*, on côtoie ces mêmes cc toujours verticales, dont les plans courent constamment d même direction du nord au sud, ou plus exactement à 10 du sud par est. Lorsqu'on arrive au bord du *Cherau*, qui a son lit très-profondement dans ces mêmes *grès*, on voit, au t des eaux tranquilles et transparentes de ce ruisseau, ces n couches traverser son lit et reparaître sur la rive opposée, e

servant la régularité la plus parfaite. Ces couches sont à découvert dans une hauteur verticale d'environ 170 pieds (55^{m},2).

S. 1177. La route de **Rumilly** à **Aix** ne présente rien de remarquable, si ce n'est qu'à une demi-lieue de la ville, on traverse un ruisseau qui a mis à découvert les *bancs de pierre calcaire* sur lesquels il a passé. Cette observation vient à l'appui de la conjecture que j'ai formée sur la vallée de notre lac: c'est que les *montagnes calcaires* qui forment les deux côtés de cette vallée rejoignent par-dessous les terres, *les grès*, *les débris* qui recouvrent le fond de la vallée.

Montagnes calcaires qui forment les deux côtés d'une vallée, se rejoignent par dessous les terres et les débris recouvrant le fond de la vallée.

Rumilly à Aix.

Le même ruisseau qui a découvert ces rochers a creusé son lit dans des rocs du même genre, situés un peu au-dessus du pont sur lequel on le traverse. Il forme là des cascades vraiment pittoresques auprès d'un moulin, qu'on laisse à gauche en venant à *Aix*.

PHÉNOMÈNES ERRATIQUES DANS LES ALPES.

Introduction.

A. G. 1[1]. **M. A. Guyot**, professeur à Neuchâtel, expose le résultat de ses nouvelles observations sur la dissémination du *terrain erratique* dans le grand bassin de la *Suisse-Basse* et sur les *flancs du Jura;* il met sous les yeux de la Société une carte géologique destinée à faciliter l'intelligence des faits rapportés.

Pour saisir le phénomène erratique dans son ensemble, dit **M. Guyot**, et remonter, si possible, à sa cause, pour en deviner l'agent mystérieux et en caractériser les allures, les trois données principales qu'il fallait chercher à acquérir, avant même de s'occuper de détails de gisement, de composition etc., sont les suivantes :

1° Le mode de dispersion des fragments erratiques suivant les espèces de roches rapportées à leur lieu d'origine ou à leur point de départ.

2° Les limites extrêmes de dispersion des roches erratiques alpines, dans le plan horizontal.

3° Les limites supérieures, dans le sens vertical, ou le niveau qu'elles atteignent soit au sortir des Alpes sur le flanc de vallées, soit sur les flancs du Jura ou des hauteurs qui s'élèvent dans l'espace qu'elles recouvrent.

Ce sont les trois questions que j'ai cherché surtout à éclaircir,

[1] D. A. *Les phénomènes erratiques dans les Alpes*, par M. le professeur **Guyot**, sont extraits des *Actes de la Société helvétique des sciences naturelles*, réunie à Genève le 11, le 12 et le 13 août 1845.

Les paragraphes A. G., A. Guyot.

sans négliger cependant les autres. Quant à la première, j'ai pu me convaincre que **MM. Escher von der Linth** et de **Buch** avaient eu raison d'affirmer que l'on peut diviser la Suisse-Basse en plusieurs *régions erratiques* distinctes, dont chacune est caractérisée par la présence de certaines roches qui ne se trouvent point dans les autres, et dont les limites se touchent sans se confondre, si ce n'est sur une faible étendue. Dans l'espace compris entre les *lacs de Zurich* et *de Genève*, qui embrasse jusqu'à ce moment le champ de mes observations, les régions sont au nombre de quatre, et les roches répandues dans chacune d'elles semblent tirer leur origine des quatre grandes vallées alpines qui débouchent dans la plaine, celle de la *Linth*, de la *Reuss*, de l'*Aar* et du *Rhône*. Ce sont ces quatre grandes bouches qui ont vomi sur la moitié du sol helvétique cette multitude innombrable de roches des hautes Alpes dont les débris couvrent les vallées et les collines dans tout le large espace qui sépare les Alpes du Jura, et montent bien haut encore sur les flancs de cette dernière chaîne. J'ai cherché à fixer d'une manière précise les limites de ces diverses régions, surtout de celle de la *Linth*, du côté de l'Ouest, de la *Reuss* et de l'*Aar*, qui ne l'étaient pas même d'une manière approchée. Le lieu même où nous avons le plaisir de nous trouver rassemblés, m'engage à vous parler avec quelque détail de ces trois dernières.

Vallée de la Linth.

A. G. 2. **Vallée de la Linth.** Le terrain erratique du bassin de la *Linth* est caractérisé essentiellement par la présence des *conglomérats et schistes rouges du Sernfthal*. Sa limite occidentale, prise à sa sortie des Alpes, à l'entrée du *lac de Zurich*, suit les hauteurs de l'*Etzel*, au sommet duquel on rencontre encore quelques blocs; passe à quelques minutes au-dessous d'*Einsiedeln*, puis longeant les flancs du *Hohe-Rhône*, elle s'avance en ligne droite dans la direction qui devait être celle de la force d'impulsion, au travers d'une échancrure large et assez profonde, creusée dans la chaîne molassique de l'*Albis*, à son point de jonction avec la chaîne alpine du *Hohe-Rhône*. Elle s'élève sur les pentes Nord de cette dernière montagne à une hauteur de près de 3000 pieds (975 mètres), domine le *plateau de Menzingen*, et rencontre au pied de la colline du *Gubel*, qui le termine à l'ouest, et non loin du *lac de Zug*, les roches descendues du *Gothard*. Elle coupe ici transver-

salement la vallée de la *Lorze* sans entrer dans la large ouverture que présente la vallée d'Égeri. A partir de ce point elle se trouve en contact avec la limite orientale de la région erratique du *Gothard* ou du bassin de la *Reuss*, tourne avec elle subitement au nord, faisant avec son ancienne direction un angle presque droit; passe par *Cappel*, *Rifferswyl*, l'*Augsterberg*, à l'ouest du *Turlersee*, *Birmensdorf*, au pied occidental de l'*Uetliberg;* longe le *Hasenberg*, au-dessus et à l'est de *Mellingen* et *Dœttwyl*, puis aboutit au plateau de la *Baldegg*, près de *Baden*, sur le sommet duquel on rencontre quelques rares fragments appartenant à l'une et à l'autre de ces deux régions.

Toute la contrée comprise entre les bords du lac de *Zurich* à *Wadenschwyl* et à *Richterswyl*, et celui de *Zug*, et principalement les plateaux de *Schönenberg* et de *Menzingen*, qui dominent à l'est et à l'ouest les deux berges de la profonde vallée de la *Sihl*, sont moins remarquables par de grands blocs que par des amas considérables de galets et de fragments de toute grosseur, mêlés d'un limon détritique abondant. Ces amas se présentent tantôt sous la forme de surfaces nivelées, parsemées de gros blocs, comme la grande plaine diluvienne entre *Menzingen* et les hauteurs du *Gubel;* tantôt sous celle d'éminences coniques, irrégulièrement dispersées çà et là, comme les collines qui environnent *Menzingen*, *Hinterburg* et *Neuheim*, et donnent presque à tout ce petit plateau l'aspect singulier d'une contrée volcanique; tantôt enfin, comme dans les alentours de *Hirzel* et de *Schœnenberg*, entre la *Sihl* et le lac de *Zurich*, les amas coniques, s'alignant et confondant leurs bases, prennent la forme de *digues continues*, plus ou moins *cointrées*, et en dedans desquelles, c'est-à-dire à l'est, on trouve souvent un fond plat que les eaux captives ont transformé en tourbières ou en marécages. *On dirait tous les accidents d'une vaste moraine déposée par un glacier en retrait.*

Sur toute cette ligne, la limite du bassin de la *Linth* est celle du terrain erratique même. Plus loin, du *Zugerberg* à la *Baldegg*, elle est formée par la ligne de contact de cette région avec celle de la *Reuss*. Le contact n'est marqué par aucune accumulation particulière de blocs ou de galets; il a lieu sur une zone d'ordinaire fort étroite, qui présente un mélange de leurs roches caractéristiques. Ce fait

n'éprouve sur toute cette ligne qu'une exception notable, signalée par **M. Arnold Escher**. Selon les observations de cet habile géologue, les blocs du *Gothard* ont pénétré dans la *Limmat* par une lacune qui sépare l'*Uetliberg* du *Hasenberg*, et interrompt la continuité des hauteurs molassiques qui bordent à l'Ouest le bassin du lac de *Zurich* et de la *Limmat*.

A. G. 3. **Vallée de la Reuss.** Les roches descendues des massifs du *Gothard* couvrent de leurs débris les deux flancs de la vallée de la *Reuss* jusqu'à une grande hauteur. Parvenues au bord extérieur des Alpes, elles rencontrent la masse imposante du *Rigi*, qu'elles entourent d'une ceinture de blocs jusqu'à un niveau moyen d'environ 3600 pieds (1170 mètres) d'élévation absolue (2260 pieds [734m,10] sur le lac des *Quatre-Cantons*). Les cimes seules en sont parfaitement exemptes. D'ici les blocs s'écoulent à la fois à l'est et à l'ouest. Le long des dernières pentes du *Rossberg*, entre *Steinerberg* et le lac de *Lowerz*, on trouve accumulés une quantité considérable de blocs du *gneiss gris des surènes*. De nombreux blocs épars de *nagelflue*, puis des *calcaires* en digues puissantes remontent la vallée qui mène à *Rothenthurm* jusqu'à la hauteur du hameau de *Ecce-homo*. Les bords du lac de *Zug* et les hauteurs qui le dominent abondent en toutes sortes de roches provenant du *Gothard;* les *granits* sont nombreux sur toutes les collines situées derrière et au nord du *Rigi*. Plus au nord, du lac de *Zug* au *Jura*, la limite en a déjà été tracée plus haut. A l'ouest, les mêmes roches montent à une hauteur presque égale sur les flancs du *Stanzerhorn*, jusque près de la *Blumalp;* elles sont répandues sur le *Bürgen* jusqu'à son sommet. On retrouve les *granits du Gothard* dans toute leur pureté au fond du *Kriensthal*, au nord du *Pilate*. Plus loin, le fond de la vallée de la *Wigger*, dans toute sa longueur, semble marquer la limite occidentale de cette région erratique. L'une des localités les plus remarquables de cette ligne est la colline à laquelle est adossé le village d'*Ufikon*, sur la route de *Sursee* à *Dagmersellen*. Déjà au pied de ces hauteurs, à *Bolmensberg*, puis en montant dans le village d'*Ufikon* inférieur et supérieur, on voit une abondance de grands blocs de *gneiss* grisâtre, de *micaschistes*, de *calcaires* foncés, mais peu ou point de *granits*. A quelques minutes au-dessus des dernières habitations se trouve, au milieu des

Vallée de la Reuss.

champs, un bloc de *calcaire schisteux*, à moitié en terre, dont partie visible mesure encore 4 à 5 mètres en tous sens. A une cé on rencontre de profonds amas de galets et de fragments de tou grosseur simplement émoussés, liés par un limon peu abondan *les calcaires sont profondément rayés.* C'est sur ce dépôt que so fondées la plupart des maisons du village supérieur.

Tout l'espace compris entre les limites de la région erratique qu je viens de définir, est parsemé de blocs et de fragments de roch qui semblent appartenir aux montagnes du bassin de la *Reuss;* ma ils n'y sont point répandus d'une manière uniforme. Ici, le nombre est considérable, là, ils sont rares et dispersés; tantôt c en rencontre d'épais amas; tantôt une couche très-mince recouv à peine le sol; ailleurs encore quelques galets isolés rappelle seuls la présence du terrain erratique. Cependant dans toute cet étendue aucune colline ne s'élève assez pour être exempte de c dépôts étrangers. La plus haute, le *Lindenberg,* 2700 pieds (8 mètres), porte sur ses crêtes des amas diluviens et d'immenses blo de granit du *Gothard*, dont l'exploitation, il est vrai, fait disp raître tous les jours un bon nombre. On ne peut donc constater u limite supérieure que sur les flancs du *Rigi*, du *Buochserhorn* du *Stanzerhorn.*

Un fait qui paraît général, c'est que les blocs, comme les am erratiques, sont déposés de préférence dans les hauteurs, sur sommet et sur les flancs des collines. Le fond des vallées et souve leurs flancs, jusqu'à une certaine hauteur, en sont d'ordinai exempts; ou s'il s'y rencontre des roches alpines, c'est volontie sous la couche alluviale récente qui en recouvre les parties les pl basses, et sous la forme de gros galets très-arrondis, sans mélan de fragments anguleux, ni limon. Ce n'est guère qu'au débouc de ces vallées et dans celles qui aujourd'hui sont parcourues par grands cours d'eau, tels que l'*Aar*, la *Reuss*, qu'on trouve dans plaine de grands amas, des terrasses et des fonds nivelés, form de galets et de graviers alpins. C'est toujours sur les hauteurs j'ai rencontré les blocs dont les dimensions atteignent quelq mètres. De plus, conformément à ce qu'on observe ailleurs, n'est point immédiatement au pied des Alpes que se trouvent plus considérables. Le grand *bloc calcaire d'Ufikon*, les *granits*

Lindenberg sont déjà à une distance des chaînes alpines, qui équivaut à la moitié de la route parcourue par ceux de leurs congénères qui se sont le plus écartés de leur gîte primitif. Les plus gigantesques que je connaisse dans cette région erratique, les deux blocs granitiques de *Tœttwyl*, près de *Baden*, dont l'un, quoique à moitié exploité, mesure encore 9 mètres sur 4 (144 mètres cubes), et le second, tout auprès, montre hors de terre une face de 7 mètres sur 4 (112 mètres cubes), sont placés non loin de l'extrême limite qu'atteignent les blocs sortis de la vallée de la *Reuss*.

La répartition des roches suivant leurs espèces n'est pas davantage uniforme. Quoique les *granits du Gothard*, *les gneiss* et les *calcaires gris-noirs* des chaînes intermédiaires se trouvent ensemble dans toute cette étendue, les proportions de leur mélange sont très-variables. Je signalerai d'abord, comme très-remarquable sous ce rapport, la zone longitudinale limitée par les vallées des lacs de *Sempach* d'un côté, *Baldegg* et *Halwyl* de l'autre, et comprenant le massif dans l'épaisseur duquel est creusée la vallée de la *Wyne*. Là, les débris erratiques qui couvrent plus ou moins le sol *molassique*, sont presque exclusivement *calcaires*, plus *fragmentaires que roulés;* un bloc d'une autre espèce de roche est presque *une rareté*. Les *granits du Gothard* en blocs sont surtout abondants au nord du *Rigi* et dans la zone comprise entre la vallée des lacs de *Baldegg* et *Hallwyl* et celle de la *Reuss*. Le *Lindenberg* en offre encore de fort gros, surtout près du sommet, malgré la rapidité avec laquelle l'exploitation les fait disparaître. Les *nagelflue* ou *gompholites* du *Rigi* et du *Rossberg* ne se rencontrent guère que sur une zone fort étroite, près de la limite extérieure et orientale de la région de la *Reuss*, par exemple près de *Steinen*, au pied du *Rossberg*, entre *Birmenstorf* et *Bremgarten* (sur Reuss). A l'ouest du *lac de Sempach*, ce sont les *gneiss gris* et les *micaschistes* qui dominent, mêlés toutefois avec une assez forte proportion de *calcaires*. Enfin, le bassin erratique de la *Reuss* nous offre aussi un de ces remarquables dépôts de blocs d'une seule espèce de roche, dont M. de Charpentier cite plusieurs exemples dans le bassin du Rhône: c'est celui de Steinerberg, près du lac de Lowerz. Il s'étend sur une longueur de 20 à 25 minutes et une largeur de 10, dans une forêt un peu au-dessous de ce village, et couvre les pentes, ainsi

que je l'ai dit, jusqu'au niveau du lac ; véritable cahos de bl entassés les uns sur les autres, qui rappelle les traces toutes v sines du désastre du *Rossberg*. Il serait difficile, sauf peut-être les bords, de trouver dans ce grand nombre de blocs un seul éch tillon d'une autre espèce de roche, que ce *gneiss grisâtre bleuâtre* dont j'ai plus d'une fois signalé la présence dans le bas de la *Reuss*.

Vallée de l'Aar. A. G. 4. **Vallée de l'Aar.** La région erratique correspondant bassin de l'*Aar*, que je n'ai point encore parcourue tout entière, r toujours la plus difficile à déterminer, comme l'a déjà fait obser **M. de Buch**, et cela par plusieurs raisons. D'abord les granits la Grimsel et les autres roches qui pourraient servir à la caractéris ont un *facies* moins original et trouvent dans les régions voisi des analogues qui rendent les délimitations moins sûres. D'au part, plusieurs indices feraient presque croire à une invasion ces roches dans la région erratique du Rhône, qui les mélange un certain espace. De plus, les blocs qui descendent de la val de l'Aar semblent se perdre au delà de Berne, ou du moins se d séminent de telle sorte que, pour le moment, j'ai déterminé l'ét due de cette région bien moins positivement par ses propres roch que négativement par les limites des deux régions voisines et l'absence de leurs roches caractéristiques dans cette région int médiaire. D'ailleurs, les blocs quelconques y sont en général ra et petits, sauf peut-être au débouché de la vallée de l'Aar. Enf une dernière raison, qui rend ici fort difficile l'étude du terr erratique, c'est que la chaîne de nagelflue, dont le Napf est le p culminant et qui occupe au sud une bonne partie de cette régi est comme en décomposition et a couvert tous les abords d' telle quantité de galets provenant du *nagelflue* désagrégé, q devient souvent très-difficile, pour ne pas dire impossible, de tinguer ici ces débris anciens des dépôts dus à l'époque d vienne.

Cependant ce bassin présente un phénomène d'un haut int pour la théorie de la dispersion des blocs erratiques. C'est une furcation remarquable, analogue à celle qui dut avoir lieu au du *Mont-Blanc*, lorsque ses roches descendaient d'un côté pa Tête-Noire et la vallée de *Trient* dans le Valais, de l'autre, pa

vallée de l'*Arve* dans les plaines de *Genève* et de la *Savoie*. A partir d'un niveau un peu supérieur au fond actuel où coule l'Aar, des blocs nombreux sont suspendus jusqu'à une grande hauteur sur les flancs de la vallée de *Hasli*. Les blocs des pentes orientales arrivés au col du *Brünig*, tournent à l'est, entrent dans cette large échancrure, où on les rencontre très-nombreux sur un espace d'une lieue, jusqu'au bord des abruptes qui dominent la vallée de *Lungern;* de là, des blocs et des fragments des mêmes roches se montrent, quoique moins nombreux, dans le bassin de *Lungern*, sur la rive droite du lac et jusqu'au haut des pentes du *Kaiserstuhl*, au-dessus de Gisswyl. Après une courte interruption, on retrouve de nombreuses roches plutoniques, parmi lesquelles de beaux granits mesurent jusqu'à 4 et 5 mètres, dans les côteaux qui bordent au sud le *lac de Sarnen*, principalement depuis *Sachslen*, *à l'est*. A l'issue du *Melchthal*, la profonde coupure du *Ranft*, célèbre par ses ermitages, en récèle un nombre considérable, presque tous de *gneiss* ou de *micaschiste*. Le lit du torrent en est encombré; les berges de la rive droite surtout en sont obscurcies, comme s'ils y avaient été jetés par une force venant de l'ouest. C'est du milieu de ces blocs souvent monstrueux que s'élève, au fond de cette gorge sauvage, la chapelle vénérée de *Nicolas von der Flue*, et sur la rive opposée, suspendue à mi-côte, celle de *Saint-Ulrich*, qui renferme un de ces enfants égarés des Hautes-Alpes, dont un angle en surplomb, dit la légende, servit longtemps d'unique abri à ce pieux solitaire. Ces blocs n'entrent point avant dans le *Melchthal*, mais, suivant leur chemin en ligne droite, ils montent, quoique moins fréquents, jusqu'à la chapelle supérieure de *Saint-Nicolas*, située à plus de 1000 pieds (325 mètres) sur le lac de Sarnen, puis, filant toujours plus à l'est, accompagnés d'amas de galets et de fragments, ils se répandent jusque dans la forêt au delà de *Kerns*. Alors succèdent, disséminés sur toute cette plaine élevée, une multitude de *blocs calcaires*, que l'on croirait amenés par un éboulement, si les montagnes ne semblaient trop éloignées pour permettre cette supposition. Au delà de l'angle saillant, formé par le *Stanzerhorn*, apparaissent les blocs du *Gothard*.

Une circonstance bien remarquable de cette distribution des roches erratiques, c'est que ni le fond de la vallée près de *Sarnen*

au plus bas, ni les flancs de la chaîne du *Pilate*, de l'autre côté de la vallée, ne montrent la moindre trace de débris de roches plutoniques quelconques, mais seulement de gros blocs plus ou moins roulés de *calcaire* et de *grès*, qui appartiennent à la chaîne même sur laquelle ils reposent. Cette singulière disposition rend presque impossible, ce me semble, l'admission d'un agent liquide comme moyen de transport des roches erratiques.

Ainsi donc, pendant l'époque où le phénomène erratique avait atteint le maximum de son développement, la vallée de l'*Aar* déversait une bonne partie de ses roches par le *Brünig* dans l'Unterwald; et ce qui me confirme encore dans l'idée qu'il en était ainsi, c'est que les roches erratiques manquent presque complétement au-dessus de *Brienz*, dans les hauteurs supérieures au niveau du Brünig (3600 pieds, 1170 mètres); tandis que plus bas on trouve en abondance les beaux *blocs de granit* de la *Grimsel*, qui vont aujourd'hui orner à *Berne* le pont de la *Nydeck*. Ils ne pouvaient en effet arriver sur les flancs de ces montagnes tant que le débouché du *Brünig* leur restait ouvert.

Vallée du Rhône.

A. G. 5. **Vallée du Rhône.** Quant à la région erratique du bassin du *Rhône*, mon travail étant loin d'être aussi avancé, je m'abstiendrai d'entrer dans aucun détail à cet égard. Je dirai seulement que j'ai complété mes premières observations, dont j'ai rendu un compte succinct dans l'assemblée de la *Société* à *Zurich*. J'ai déterminé exactement la limite supérieure qu'atteint le terrain erratique sur les pentes du *Jura*, depuis le *Lægernberg* jusqu'à la *Dôle;* j'en ai constaté la présence, le mode de gisement et le niveau dans les vallées jurassiques jusqu'au delà du *Doubs*, et pour le reste j'ai admis provisoirement les limites données par la carte qui accompagne l'ouvrage de **M. de Charpentier.**

Les limites extrêmes qu'atteignent les roches des Alpes dans le *Jura* et au delà, se trouveront déterminées quand celles des bassins particuliers le seront elles-mêmes d'une manière rigoureuse. Alors se fixeront aussi leurs contacts avec les régions erratiques de la *Forêt-Noire*, des *Vosges* et des montagnes de la *France occidentale*.

Relativement à la troisième question, celle du *niveau supérieur des roches erratiques*, je dirai que j'y ai attaché toujours la plus

grande importance, parce qu'elle me semble renfermer l'élément principal d'une solution du phénomène erratique. Ce fut là le point de départ de mes recherches ; c'est encore le but principal de ce travail. Bien des centaines d'observations barométriques, que j'augmente à chaque course nouvelle, me permettront dans peu de temps, je l'espère, de tracer le tableau complet des allures du phénomène erratique alpin dans tout le bassin compris entre les *Alpes* et le *Jura*, et même au delà de ces limites, en *France* et en *Savoie*. Alors seulement je pourrai hasarder mes conclusions.

A. GUYOT.

Nota. L'auteur de cette communication nous annonce que depuis l'époque à laquelle elle a été faite, il a achevé d'explorer le *Jura* jusqu'à la perte du *Rhône*. Loin de voir le terrain erratique du bassin du Rhône se terminer au pied de la *Dôle* et à *Nyon*, ainsi que l'admettent les auteurs, **M. Guyot** s'est convaincu qu'il continue à couvrir les pentes inférieures du *Jura* et la plaine dans le pays de *Gex*, au-dessus de *Thoiry* et *Collonge*, de blocs nombreux, mesurant parfois jusqu'à 4 et 5 mètres. Les *schistes chloriteux* du massif de *Bagnes*, qui s'y trouvent partout et dominent dans plusieurs localités, les belles *euphotides de Saas*, qui y sont plus fréquentes qu'ailleurs, et en blocs de 1 à 2 mètres, rendent certaine leur origine, que fait pressentir déjà l'ensemble des roches qui les accompagnent.

La limite supérieure n'est ici ni aussi élevée ni aussi régulière qu'elle l'est plus à l'orient. Elle s'abaisse d'abord jusque bien au delà de la *Dôle*, près de *Vendôme* et *Divonne*, d'où elle remonte faiblement jusque près de *Gex;* sauf une légère dépression sous la *Faucille*, elle se maintient jusqu'au *Fort-de-l'Écluse*, au delà duquel elle s'élève brusquement de 500 pieds (162 mètres) sur les pentes occidentales du grand *Credo*. Cette limite supérieure semble troublée sur toute cette ligne par le phénomène erratique, qui appartient en propre au *Jura* et dont **M. Guyot** a suivi les traces depuis la *Dôle* vers l'ouest. Des roches polies, des dépôts considérables exclusivement jurassiques, du reste en tout semblables aux dépôts erratiques alpins, contenant dans toute leur masse des *blocs de calcaire portlandien* d'un à deux mètres et moins, polis, striés ;

accompagnés de galets, de fragments et de limon également jurassiques; des blocs superficiels à *angles simplement émoussés*, et cela sur une étendue de plusieurs lieues. Tous ces faits ont prouvé à **M. Guyot** que là, comme ailleurs, mais sur une plus grande échelle, le *Jura* a contribué pour sa part à ce grand phénomène [1].

[1] D. A. Voy. comme complément de ce travail, *Die Gegend von Zürich in der letzten Periode der Vorwelt*, von **A. Escher von der Linth** und **Oswald Heer** (*Phénomènes erratiques en Suisse*, chap. E. et H).

PHÉNOMÈNES ERRATIQUES EN SUISSE.

Introduction.

E. et H[1]. **Phénomènes erratiques en Suisse.** Hr. Prof. eer hat uns in seinem Vortrage vor acht Tagen aus jenen un- dlich entfernten Zeiten der Erschaffung der Pflanzen und Thiere s zur Periode des sogenannten Diluviums geführt, einer Zeit, welcher der Boden unserer Gegend im Grossen und Ganzen hon die gegenwärtige Gestalt hatte, die Vertheilung von Berg und al ungefähr diejenige gewesen sein muss, welche wir jetzt vor s sehen. — Gerne hätte ich Ihnen entwickelt, auf welche Weise h die jetzigen Geologen die Entstehungsweise des Alpengebirges ken, da sich nachweisen lässt, dass der *Glärnisch* und die *rigen Alpengipfel*, deren Anblick uns mit Bewunderung und Ehr- cht erfüllt, und die man sich gewöhnlich so alt denkt, als die elt selbst, verhältnissmässig sehr neuer Entstehung sind, noch cht existirten als die Gegenden von London und von Paris so zu gen schon ganz ihre jetzige Gestalt hatten. Das Eintreten in diese rhältnisse würde aber zu viel Zeit erfordern; es wird daher bes- r sein, bloss das letzte Ereigniss zu betrachten, welches der Er- haffung des Menschen vorausgegangen ist und unter den vielen erkwürdigen, die uns die Untersuchung der Erdoberfläche dar- ietet, besonders hervortritt. Es ist diess das Phänomen der soge- annten *Fündlinge* oder *erratischen Blœcke* (blocs erratiques), d. h.

[1] *Zwei geologische Vorträge gehalten im März 1852*, von **A. Escher von der Linth** und **Oswald Heer**. 1) *Ueber die Lias-Insel im Aargau*, mit einer Tafel Liasinsekten; 2) *Ueber die Gegend von Zürich in der letzten Periode der Vorwelt*, mit einer Blocktafel der Schweiz. Zürich, Druck von E. Kiesling. In Commission bei S. Höhr.

cubes) Inhalt hat, und die ob *Regensberg* an der Lägern liegenden, über die Tiefe des *Zürichseethals* weg an ihre jetzigen Fundorte versetzt worden? — Es lässt sich nämlich, wie bereits angedeutet, nachweisen, dass die grossen Thäler, wie das des *Wallensees* und *Zürchersees*, schon ausgebildet gewesen sind; ja selbst unbedeutende Einschnitte, wie das *Goldinger-*, *Fischinger-*, *Mühlrütithal* u. s. f., haben zur Zeit der Wanderung der Blöcke bereits existirt[1]. — Die Frage, wie dieser Transport der Fündlinge erfolgt sei, hat die Naturforscher lebhaft beschäftigt und ist auf verschiedene Weise beantwortet worden, auch gegenwärtig ist man über die Lösung des Räthsels noch nicht einig. — Die einen, **Hor. Ben. de Saussure, Leop v. Buch, Conr. Escher v. d. Linth,** waren geneigt, zu ungeheuren Fluthen Zuflucht zu nehmen, die, aus den Alpen hervorbrechend, die Blöcke mit sich gerissen und sie schwimmend oder so zu sagen fliegend an den jetzigen Fundstellen abgesetzt haben sollten. — Zahlreiche andere Schwierigkeiten bei Seite gesetzt, blieb es aber immer unbegreiflich, wie der-

[1] Die damalige Existenz des *Wallen-Zürichsee-Thals* geht u. a. deutlich hervor aus dem Dasein der *Schieferkohlen* (lignite) von *Utznach* und *Wangen*.

Diese *Schieferkohlen* (lignite) befinden sich in wagrechter Lage auf den senkrecht stehenden *Molasseschichten*. Die Aufrichtung dieser *Molasse* aus der ursprünglich wagrechten in die jetzige senkrechte Stellung und die mit dieser Aufrichtung zusammenhängende Entstehung des *Wallen-Zürichsee-Thals*, sind also älter als die Ablagerung der *Schieferkohlen*, welche selbst der Herbeiführung der *Alpenfündlinge* voraus gegangen ist; dergleichen kommen nämlich häufig *über*, niemals weder *in*, *noch unter der Schieferkohle* vor.

Die Existenz der unbedeutenden Einschnitte des *Goldinger-*, *Mühlrüti-Thals* u. s. f., schon vor der Ankunft der Fündlinge, geht hervor aus ihrem massenhaften, allfällig spätere Herbeischwemmung ausschliessenden, Vorkommen in diesen Thälchen; in diese können sie von den umgebenden *Plateauxflächen* des *Allmannsstocks* auch nicht herabgefallen sein, da auf diesen Flächen keine solche Fündlinge vorkommen; sie müssen also direkt an ihren jetzigen Fundorten abgelagert worden sein, und diese demnach damals schon ungefähr ihre jetzige Gestalt gehabt haben. Durch ähnliche Betrachtungen lässt sich nachweisen, dass es sich im ganzen Alpengebiet ebenso verhalten hat. **Hr. Prof. Frombers** (Leonh. und Bronn, Jahrb. 1850, S. 641 und fg.) glaubt zwar, das Becken des Bodensees habe damals noch nicht existirt. Allein die Existenz der *Schieferkohlen* von *Morschach* bei *St.-Gallen*, ident mit denen von *Utznach*, liefert den unumstösslichen Beweis, dass die Ufer dieses Seebeckens, also nothwendiger Weise auch die ganze Umgegend, ebenso wie die anderen Alpenthäler, den Haupttypus ihrer jetzigen Gestalt schon vor der Ankunft der Blöcke erhalten haben.

Figure explicative dans le texte.

artige, mit so ungeheurem Steinmaterial beladene Fluthen über die Seetiefen weggehen konnten, ohne zunächst diese selbst auszufüllen. — Andere (z. B. **Venturini**) glaubten daher, die Fündlinge seien auf Tafeln von *Treibeis* aus den Alpen weg nach ihren jetzigen Fundstellen hingelangt, auf ähnliche Weise, wie jetzt noch das von den Polarländern sich lossreissende Treibeis den Küsten *Labradors* und des südlichen Amerikas jährlich zahlreiche und zum Theil grosse Felsblöcke zuführt. — Aber die obere Grenze der alpinen Fündlinge bildet nicht eine wagrechte Ebene, wie die Oberfläche eines stehenden Gewässers es thut. Die *Walliserblöcke* steigen am höchsten am *Chasseron* in der Verlängerung der Richtung des untern *Rhonethals;* von da sinken sie einerseits gegen den *Bielersee*, anderseits gegen *Gex* hinab. Wo sind ferner die Berge gewesen, welche dieses vermuthete Binnenmeer eingefasst, ihm als Ufer gedient haben? Wir finden Blöcke auf der Höhe des *Salève* bei *Genf*, bei der Festung *Hohentwiel*, an der Südseite der Alpen hoch an den Abhängen der Berge. An allen diesen und zahlreichen anderen Stellen ist das benachbarte Land niedrig und offen, zum Theil in unabsehbare Ebnen verlaufend. — Die Vermuthung, dass unsere Blöcke auf *Treibeis* (glaces flottantes) an ihre jetzigen Fundstellen hingelangt seien, führt uns also ebenfalls zu seltsamen Widersprüchen, denen sich noch zahlreiche andere Schwierigkeiten zugesellen.

Matériaux erratiques transportés par l'eau.

Matériaux erratiques transportés par les glaces flottantes.

So weit war am Ende der 20er Jahre, abgesehen von Varianten dieser hauptsächlichsten Hypothesen, die Diskussion über diese Frage unter den Gelehrten gediehen [1].

Einzelne auf die Phänomene der sie umgebenden Natur aufmerksame und nachdenkende Alpenbewohner, ohne Schulbildung, aber offnen, durch systematische Ansichten nicht getrübten Blicks, waren indess zu einer ganz andern Ueberzeugung gelangt. So sagte 1815 der Gemsjäger **Perraudin im Bagnethal im Wallis**, zu Hr. v. **Charpentier**, dem ebenso verdienst- als geistvollen Direktor der Salzwerke von Bex: «*Die Gletscher unserer Gebirge sind einst viel grösser gewesen als jetzt; unser ganzes Thal ist von einem Gletscher bedeckt gewesen, der bis nach Martinach hinaus reichte; das beweisen*

1815. Perraudin.

[1] Diese und die verwandten auch neueren Hypothesen sind beleuchtet, und ihre Unhaltbarkeit auf's klarste dargethan im oben angeführten Werke, von **J. de Charpentier**, S. 171—244.

die in der Ungebung dieser Stadt liegenden Blöcke; sie sind zu als dass das Wasser sie hätte hinführen können. » Dieser Aus kam indess Herrn v. *Charpentier* so unwahrscheinlich vor, ihn nicht näher prüfte. Im Jahr 1829 aber äusserte sich der sinnreiche künstliche Zerstörung des Gletschers im Bagnetha

1825. Venetz, ingénieur.

lichst bekannte Ingenieur **Venetz**, in folgender Weise gegen *Charpentier*: « *Meine Beobachtungen lassen mich vermuthen nicht nur das Val de Bagnes, sondern das ganze Wallistha von einem Gletscher bedeckt gewesen ist, der sich bis an den J erstreckt und die Ablagerung der Alpenblœcke veranlasst ha* Diese Idee eines bis 60 Stunden langen und quer über di Gegend zwischen den Alpen und dem Jura sich ausdehnende schers erschien aber *Charpentier* so abenteuerlich, dass e seinen Freund vom Irrthum abbringen zu können, die A Weise des Vorkommens der Blöcke nun eifrig studirte. — A mehr er forschte, desto mehr überzeugte er sich, dass die Ar von Gletschern die beste und bis in die kleinsten Einze stimmende Rechenschaft gebe vom Vorkommen der Fündlir der damit zusammenhängenden Erscheinungen. — *Charpe* so aus dem eifrigsten Gegner der Hauptvertreter der Gletsch pothese geworden; ich glaube mit Recht, da nach meiner Erfahrung derjenige, welcher unbefangnen Auges die That betrachtet, dem Gewicht derselben nicht widerstehen ka Werfen wir also einen Blick auf die hieher gehörigen Erscl gen, welche die jetzigen Gletscher uns darbieten.

Stehen wir auf einem jener stolzen Felsgipfel, die sich *Gletscherwelt* der Alpen erheben, so sehen wir die grossen fungen, welche die Berge von einander trennen, erfüllt unübersehbaren Schnee- und Eismassen, den sogenannten *ren*. In diesen hohen kalten Regionen regnet es nämlich selt Wasser, das bei uns während des grössten Theils des Jal Regen aus der Luft fällt, fällt dort meist in Gestalt von Schr der, wie bei uns zur Winterszeit. Zudem ist dort die Wä Allgemeinen zu gering, um den jährlich fallenden Schnee schmelzen. — Der Schnee und die durch öftere Tränku Schneewasser und auch mit Regen daraus hervorgehende e Masse, ähnlich derjenigen, in welche der bei uns im Anfa

Winters gefallene Schnee sich bis im Frühjahr oft umwandelt, häuft sich indess in diesen Hochregionen nicht in's Unendliche an; wenn ihre Oberfläche so hoch geworden ist, dass sie die tieferen Gegenden um ein gewisses Maas überhöht, so bleibt sie nicht mehr still liegen, sondern sie bewegt sich langsam gegen die Tiefe hin, wie ein sehr zähflüssiger Schlammstrom es thun würde. Einer der ersten schlagenden Beweise für dieses Vorrücken der scheinbar unbeweglich daliegenden Gletschermeere ist die Leiter, welche **Saussure** bei seiner Ersteigung des Mont-Blanc im *Jahr 1788 bei der Aiguille noire* zurück gelassen hatte; ihre Trümmer gelangten bis ins Jahr 1832 in die Gegend von *les Moulins* auf dem *mer de Glace;* sie war also auf dem Gletscher und mit ihm in 44 Jahren um 14,500 Par. Fuss (5522 Meter) vorgerückt, oder ungefähr eine Stunde in 50 Jahren.

1788. Échelle de de Saussure.

Durch neuere, namentlich von **Agassiz** und **Forbes** angestellte sorgfältige Beobachtungen weiss man nun auch, dass die Bewegung der Gletscher denselben Gesetzen unterthan ist, wie das Fliessen der Ströme, und dass sie also um so schneller vorrücken, je stärker ihr Gefäll und je grösser und dicker ihre Masse ist[1].

Die Gletscher würden also bei ihrem zwar langsamen aber steten Vorrücken bald sämmtliche Thäler unserer Alpen bedecken, ihre saftigen Weiden in Eiswüsten umwandeln, wenn nicht glücklicherweise die in den Tiefen herrschende grössere Wärme den Gletscher an seiner Oberfläche und namentlich an seinem Ende zum Schmelzen brächte, sein Eis in Wasser umwandelte. In der Gegend des Endes der Gletscher findet also ein beständiger Kampf statt zwischen der vorrückenden Eismasse und der si angreifenden wärmern Thalluft. Wird diese Meister, so schmilzt der Gletscher mehr ab als er vorrückt; er wird also kleiner, zieht sich zurück, wie man sich gewöhnlich, obgleich nicht richtig ausdrückt. Ist aber das Wetter kalt, folgen gar mehrere nasse und kalte Jahre nacheinander, wie es von 1812 bis 1817 der Fall war, so wachsen die Gletscher, sowohl in die Länge als in die Höhe, in einem für den Alpenbewohner schreckhaften Massstabe an.

Das Vorrücken der Gletscher, das so unmerklich ist, dass es vom Älpler mit dem Wachsen der Pflanzen verglichen wird, wird uns, wenn wir jene Höhe besuchen, aber hie und da in sehr anschauli-

[1] D. A. Ihre observations ne confirment nullement cette hypothèse.

cher, im ersten Moment sogar erschreckender Weise vor Auge geführt. — In der That, wandeln wir über einen Gletscher hin, s fühlen wir zuweilen den Eisboden unter unseren Füssen plötzlic heftig erzittern und gleichzeitig dringt aus der Tiefe zu unserm Ohr ein eigenthümliches, von klapfartigen Tönen begleitetes, zischen des Geräusch, vergleichbar demjenigen, welches wir hören, wen eine grosse Holztafel in Folge der Trockenheit der Luft entzwe reisst. — Auch im Gletscher ist das Erzittern und das Gezisch her vorgerufen worden durch das Aufbrechen einer oft nur 1 Lini breiten Spalte, die wir manchmal bis in grosse Entfernung hin ver folgen können; wo nämlich der Felsboden des Gletschers unebe ist, plötzlich stark abwärts geht, kann das Gletschereis wegen de geringen Verschiebbarkeit seiner Theile nicht in seiner ganzen o viele 100 Fuss betragenden Dicke auf Einmal dieser veränderte Richtung nachgeben, es reisst also entzwei.

Die in diesen Gletscherregionen gewöhnlich herrschende lautlos Stille wird hie und da auch durch anderes Geräusch unterbrochen welches nun aber nicht aus der Tiefe herauf, sondern von einem Berge herab zu unserm Ohr dringt. Blicken wir nach dieser Stell hin, so sehen wir oben an einer der Felswände, die vom Gletsche aus in die Lüfte emporsteigen, sich eine Steinmasse ablösen, welch nun über die Felswand herab, Staub und Schnee aufwerfend und in kleinere Bruchstücke zerspringend, dem Gletscher zufällt. — Dadurch aufmerksam geworden, bemerken wir dann, dass dies vor unseren Augen herabgestürzten Steine nur der Anfangspunk sind eines oft ganz zusammenhängenden mehr oder minder breite Streifens ganz gleicher Steine, der sich thalabwärts erstreckt, s weit das Auge reicht.

Bei der Wanderung über den obern Theil des Gletschers hin finden wir noch mehrere andere Streifen solcher Blöcke und n mentlich viele längs den Rändern des Gletschers; sie bestehe sämmtlich aus der Steinart, aus welcher der Felskopf gebildet is an dessen Fuss der Blockstreifen beginnt.

Da wir aber bereits vertraut sind mit der Bewegung des Gle schers nach abwärts, so wird uns jetzt klar, dass alle die Blöck welche die verschiedenen Streifen bilden, vom Fusse ihrer Stamm spitzen an, vermöge des allmählichen Vorrückens ihrer Unterlag

des Gletschers, abwärts gewandert sind. Diese wallartigen Streifen von Blöcken und feinem Schutt heissen *Moränen* (moraines). — Die weitere Betrachtung zeigt uns dann, dass diese *Blockstreifen* und *Moränen*, namentlich wo sie mächtig sind, viele Steine auf einander liegen, das unter ihnen liegende Eis schützen gegen den Angriff der Sonne und der warmen Luftströme; das Eis unter ihnen schmilzt also in viel geringerem Maasse als das zwischen den Moränen befindliche und es enstehen so Reihen von Thälern und Hügeln, deren Höhe manchmal bis 100 Fuss (32 Meter) beträgt. Werden aber im Verlaufe der Zeit, in Folge dieses ungleichen Abschmelzens, die Abhänge der Eishügel beträchtlich steil, so fallen die Steinblöcke nach beiden Seiten in die Vertiefungen hinab, vermengen sich dabei mit denen der benachbarten Moränen, decken und schützen das Eis nun auch hier; daher ist denn auch die Oberfläche des Gletschers gegen sein unteres Ende hin in der Mitte um so ebener, je gleichförmiger sie mit Steinschutt bedeckt ist; längs den Seitenwänden ist sie meist bedeutend niedriger, weil die durch die Sonne erhitzten Felswände hier wie ein warmer Ofen wirken. Diese Steine werden vom Gletscher oft unversehrt, in ihrer ursprünglichen Grösse und mit fast völliger Erhaltung ihrer scharfen Kanten und Ecken so weit fortgetragen als er eben vorrückt; die über seinem Endabfall liegenden fallen herab und werden meist von ihm vor sich hergeschoben. Ähnlich verhält sich's an den beiden Seiten des Gletschers; auch da wird, namentlich wo das Gletscherbett enge ist, der Steinschutt bis über das Niveau des Eises hinauf gedrängt und die Gewalt des Gletschers ist so unwiderstehlich, dass nicht nur Rasen aufgerissen, sondern hie und da selbst Felsboden aufgewühlt und fortgewälzt wird. Verkleinert sich dann aber der Gletscher in Folge einer Reihe warmer Jahre, verschwindet er in bedeutender Ausdehnung, so bleibt der Schutt, den er während des Vorrückens vor und neben sich hingedrängt hatte, nebst dem der ihn bedeckte, auf dem nun eisfreien Boden liegen in Gestalt von Schuttwällen, welche von der frühern Ausdehnung des Gletschers ein mehr oder minder vollständiges Abbild geben, also oben den Seiten entlang gehen, unten aber in einem das Thal der Quere nach durchziehenden, vom Gletscherbach an einer oder mehreren Stellen zerschnittenen, bogenförmigen Wall sich vereinigen.

So hat der Gletscherstand des ersten Jahrzehends dieses Jahrhunderts, einer der grössten, die seit langer Zeit eingetreten sind, fast überall seine Spuren hinterlassen in kleineren und grösseren Wällen, in denen feiner Sand und grosse Blöcke, scharfkantige und abgerundete Steine unordentlich durch einander liegen; hie und da finden sich in diesen Schuttmassen Blöcke, die ebenfalls bei 40,000 Kubikfuss (1370 mètres cubes) Inhalt haben; einer im Saasthal im Wallis vor ungefähr 100 Jahren vom *Schwarzberggletscher* hergeführt, misst sogar 244,000 Kubikfuss (8,360 mètres cubes).

Die Gletscher tragen aber nicht nur auf ihrem Rücken die auf sie herabgefallenen Felsmassen bis an ihre Enden hin; sie rufen auch *an ihrer Seiten- und Unterfläche* merkwürdige Wirkungen hervor, an dem sie einfassenden Bette, wo dasselbe, wie es gewöhnlich der Fall ist, aus kahlem Fels besteht.

Glaciers en activité. Action sur les roches qui les encadrent.

E. et H. 2. Diese Wirkungen können wir am besten verfolgen an den zwar seltenen Stellen, wo es möglich ist durch eine grottenähnliche Höhle zwischen dem Gletscher und der ihn begrenzenden Felswand eine Strecke weit vorzudringen. Das Bild stellt eine solche Stelle dar, die vor mehreren Jahren am untern Ende des Vieschgletschers in Oberwallis zugänglich war. Wir sehen hier einen mächtigen *Schleif-* und *Polir-Apparat* vor uns. — Die Felswand ist nicht rauh und struppig wie das Gestein, der hiesige Granit sonst ist; sondern sie zeigt gross- und sanftwellige Furchen, deren Richtung und Gefäll übereinstimmen mit der Richtung und dem Gefäll des Gletschers; die Felswand ist dort auch glatt und wie polirt anzufühlen. Das *Schleif-* und *Polirmaterial* sehen wir wirklich ob uns; es ist der Sand und die zahlreichen Steine, welche sich in der Grenzfläche des Eises zum Theil fest eingebacken befinden, beim allmählichen Vorrücken des Gletschers sich und die Felswand auf ihrem Wege abreiben. — Die Richtigkeit dieser Anschauungsweise springt um so mehr in die Augen, wenn wir nun, eben als Resultat der gegenseitigen Abreibung, an der Felswand hie und da noch höchst feinen *schmirgelähnlichen Schlamm ankleben* (boue de glacier), an anderen nassen Stellen über sie herab träufeln und an ihrem Fusse angehäuft sehen. — Kriecht man dann durch eine Höhlung unter den Gletscher hinein, um zu sehen, ob hier ähn-

liche Processe vor sich gehen, so findet man auch da das Eis erfüllt mit Steinen und Sandkörnern und den Felsboden geglättet; die Reibung der unreinen zunächst auf dem Felsboden aufliegenden Eismasse bewirkt also auch hier *Glättung*.

Das allgemein und stetig anhaltende *Trübsein* sämmtlicher unter Gletschern hervortretenden Bäche weist ferner unzweifelhaft darauf hin, dass der Abreibungsprocess, den wir an zwei Stellen beobachtet haben, ein allgemeiner ist, überall an der Berührung von Gletscher und Fels vor sich geht; weit der grösste Theil dieses Wassers dringt nämlich als so zu sagen krystallhelle Flüssigkeit an der Oberfläche des Gletschers durch seine Masse hindurch, wird also erst durch die Beimengung des *Schleifschlammes* (boue de glacier) getrübt. — Wirklich sehen wir auch beim Gang zum untern Ende des Vieschgletschers, das vor zwanzig Jahren um einige hundert Fuss weiter thalabwärts gereicht hat als gegenwärtig, an den Felsen der Seitenwände und des Thalbodens dieselben sanftwelligen und glatten Formen, deren Entstehungsweise wir so eben verfolgt haben. — Bei genauer Betrachtung finden wir ferner an den geglätteten Wänden sowohl als an den Steinen, die an der Grenze des Gletschereises eingebacken sind, mehr und minder feine, oft wie mit dem Diamant gezogene *Furchen und Kritze*, (raies, coups de gouge, stries), deren Richtung an der Felswand übereinstimmt mit derjenigen der grossen Furchen, also auch des Gletschers selbst. Die Beobachtung zeigt unwiderleglich, dass diese *Kritze* hervorgebracht sind durch die härtesten der Steinarten, welche über die etwas weniger harten hinrückend diese angreifen, einen Kritz auf ihnen hinterlassen. — Sehr auffallend und deutlich stellen sich diese *Kritze* in dem Falle dar, wenn die eine der Steinarten in ihrer ganzen Masse weniger hart ist als die andere; so z. B. wo *kiesliger Sandstein* über den viel weichern *Kalkstein* hingeht. Eine Probe eines Stücks Gletscherwand ist vor Ihren Augen aufgestellt, ebenso zwei Stücke von *Kalkstein*, die an *Granitwänden* hingegangen sind. — *Weitere Vergleichung der Formen des Gletscherschliffs* (surfaces polies par les glaciers) *mit den Auswaschungen, welche geschiebreiche Bäche in ihren Felsenbetten hervorbringen, belehrt uns, dass diese von den ersteren wesentlich verschieden sind und dass auch die geschiebreichsten Ströme nie und nirgends etwas den Gletscherkritzen*

Gesteine weder [illegible] *ein*
— Haben wir uns so vertraut gemacht mit den Eigenthümlichk
der *Gletscherschliffe* und blicken wir nun [illegible]
Vieschgletscher aus in die Höhe empor, so sehen wir zu un
grossen Erstaunen an den beiden Thalwänden ganz dieselben
men bis einige tausend Fuss hoch über den Gletscher hinau
halten; blos die obersten Gräte und Gipfel zeigen uns den G
eigentlich zukommende, rauhe und knorrige Oberfläche. — [illegible]
also wirklich der Gletscher einst bis da hinauf gereicht haben
2000 Fuss (600 mètres) dicker gewesen sein als er jetzt ist?
Antwort auf diese Frage zu erhalten, erklimmen wir die Fels
und finden in der That nicht nur ächtesten *Gletscherschliff*, son
(auf schmalen Felsbändern) auch *Blöcke*, *welche ihrer St*
zufolge nicht von dem direkt ob uns befindlichen Gipfels, sondern
einem Felshorn im Hintergrunde des Eismeers herstammen.
erschrocken, halb erfreut über diesen Fund, wenden wir uns
thalauswärts, um zu sehen, ob und wie weit sich hier Sp
ehemaliger Gletscher erstrecken; da finden wir z. B. im Vi
thale 500 Fuss (160 mètres) hoch über dem jetzigen *Gletsche*
(pente terminale) *einen Blockwall* (moraine), *der in aller und*
Hinsicht übereinstimmt mit denjenigen, welche den Gletscher i
zu unseren Füssen liegenden Thaltiefe begleiten: er besteht aus
deutlich durch einander gemischten Steintrümmern des Thalhi
grunds und ist durch einen leeren Zwischenraum getrennt vom
hang des Gebirgs, so dass es unmœglich ist, seine Moränennat
verkennen; der Wall setzt aber fort bis unmittelbar über d
Hauptthal des Wallis liegende Dorf *Viesch*; seine Höhe mag
ungefähr 200 Fuss (65 mètres) betragen. Wären wir der re
Thalseite gefolgt, statt der linken, so hätten wir ähnliche Ve
nisse, nur nicht in so ausserordentlicher Klarheit gefunde
Wir sind also gezwungen anzunehmen, dass einst der *Vieschgle*
den Thalboden, wo jetzt das Dorf steht, bis in 200 bis 300
(60 à 100 mètres) Höhe bedeckt hat. Die *Gletscherschliffartigen*
men (roches moutonnées), welche wir aber noch hoch ob un
Wege gesehen haben, deuten indess darauf hin, dass die Glet
einst noch viel höher hinauf gereicht haben. Und wirklich,
wir nun durch's Wallis hinauf wandern, so zeigen sich an s

Gehängen bis einige tausend Fuss über dem jetzigen *Bett der Rhone* überall ähnliche Erscheinungen; durchweg Blöcke, von denen viele aus den Thalhintergründen stammen und Gletscherschliff-Formen, deren obere Grenze vom Hauptthale aus sich verbindet mit derjenigen, welche an den Felshörnern des Hintergrundes der Nebenthäler bemerkbar ist, und so fort und fort. In 1000 Fuss (325 mètres) Höhe ob der jetzt durch mildes Klima und üppige Vegetation mit Recht berühmten Thalebene von *Bex* sehen wir an den dortigen *Kalkbergen*, da wo der den Fels bedeckende Schutt erst vor Kurzem weggeräumt worden ist, Wände ganz in der Weise *geglättet und gestritzt* (polis et striés), wie Gletscher es da thun, wo sie, wie z. B. der *Rosenlauigletscher*, über *Kalkfels* sich hinbewegen. Völlig die gleichen Erscheinungen finden wir aber auch selbst am *Jura*, so weit als die *Alpenblöcke* daran hinauf reichen; brillante Schliffflächen (surfaces polies) der Art hat **Agassiz** entdeckt bei *Landeron*, — ganz ähnliche sieht man ob Solothurn. Solche *Glättung* und *Streifung* bemerken wir aber an den seit langer Zeit dem Wetter ausgesetzten *Kalkfelsen* bloss darum nicht, weil durch den Wechsel der Witterung der Stein angegriffen, die glatte Oberfläche binnen wenigen Jahren zerstört wird; *wir können sie also bloss noch da finden, wo eine Decke von Schutt die Oberfläche geschützt hat.*

E. et H. 3. Wanderungen vom Hochgebirge durch die anderen Alpenthäler hinaus würden uns überall ähnliche Thatsachen darbieten. Werfen wir also bloss noch einen Blick auf die verwandten Erscheinungen im *Zürichseethale*, da sie, als uns zunächst liegend, uns auch am meisten interessiren und zudem theilweise deutlicher als sonst kaum irgendwo ausgeprägt sind. — Wir haben schon früher den Stammsitz der in unseren Umgebungen so häufigen Blöcke von *rothem Ackersteine* in den Gebirgen von *Glarus* und der Südseite des *Wallensees* kennen gelernt; die anderen Blöcke, meist aus *Kalkstein* und *Nagelfluh* bestehend, stammen her von den übrigen Bergen, welche die beiden Seiten des *Wallensees* und des *Linththales* bilden. — Verfolgen wir das Thal von seinem Ursprung nach abwärts, so finden wir in der ganzen Gegend der Karte nicht bloss bald scharfkantige, bald abgerundete grosse und kleine Blöcke und in ihrem Begleit fast überall *Kalkstücke mit Kritzen, ganz ähnlich denen die durch Gletscher hervorgebracht werden*, und z. B. bei *Ober-*

Bassin du lac de Zurich.

Urnen polirte Kalkfelsen; sondern in der Gegend von *Utznach* sehen wir auch *Blockwälle*, die in jeder Hinsicht aufs vollkommenste übereinstimmen mit der *Seitenmoräne* (moraine latérale) *eines jetzigen Gletschers* (glacier en activité). Rücken wir gegen den *Zürichsee* hin vor, so finden wir ganz ähnliche *Wälle* an manchen Stellen, so besonders deutlich bei *Wetzwyl* ob *Herliberg*. Noch anschaulicher und in grösserm Massstabe treten sie uns entgegen an der linken Seite des *Zürichsees*. In der That alle die langgezogenen Rücken, welche sich auf der Plateaufläche von *Hirzel* und *Schönenberg* erheben, bestehen bloss aus *Material*, wie die Gletscher es in den *Moränen* ablagern. Ebenso ist der oben schmale bewaldete Rücken der *Horgeregg* und des *Forstes* bis in die Gegend von *Kirchberg* nichts anderes als ein solcher *Wall*, aufgesetzt auf das *Sandstein-* und *Mergelgebilde*, welches das Gerippe, den innern Boden, unsrer Gegend bildet. Wo immer das Innere des Walles entblösst worden ist durch Anlegung von Strassen oder von Griengruben, zeigen sich bis mehr als 100 Fuss (32 mètres) unter seinen Grat hinab lauter regellos neben und durch einander liegende, feine und bis über 20,000 Kubikfuss (685 mètres cubes) grosse *Trümmer alpiner Gesteine*. Ganz gleiche Beschaffenheit haben aber auch die Hügel zunächst um *Zürich* und, so weit die Untersuchung bis jetzt möglich war, die in *Zürich* selbst. — Als vor mehreren Jahren theilweise der Hügel abgetragen wurde, auf welchem die Kirche von *Neumünster* steht, sah man sein Inneres ganz aus feinem Schutt, kleinen und grossen Blöcken gebildet, welche ganz wie in einer *Moräne* ohne alle Ordnung durch einander lagen; an manchen dieser Blöcke waren einzelne Flächen ganz *platt abgeschliffen* und zugleich versehen mit den charakteristischen *Gletscherkritzen*. Gleiches zeigte sich am Hügel der Promenade, als seine Südseite eingeschnitten später bei Anlegung des Kirchhofs seine Ostseite theilweise ausgegraben wurde. Dasselbe wiederholt sich an den zwei *Hügelreihen*, die sich zwischen dem *Zürichsee* und dem *Sihlthal* von *Wollishofen* gegen das *Sellnau* erstrecken, überall wo durch Natur oder Kunst ihr Inneres bloss gelegt worden ist. — Ein vollkommen getreues Bild eines Gletscherwalles endlich ist zu Tage gekommen beim *Grossmünster auf dem Chorherrnplatz*, als dieser vor zwei Jahren um etwa 6 Fuss abgetragen wurde; auch da lagen grosse und kleine *Fün*

Zurich est bâtie sur terrain erratique.

linge, manche gekritzt, mit Schlamm und Steinen unordentlich gemengt durch einander; ein davon aufgenommenes *Daguerreotyp-bild* gibt vollständigst die Vorstellung der Beschaffenheit einer Moräne. Aus Grabungen, die im Keller des *Hauses Napf* vor mehreren Jahren vorgenommen worden sind, ergibt sich, dass auch dieses gegen den *Rindermarkt* und die *Marktgasse* sich absenkende Ende des *Kreuzbühlwalles* aus gleichem Material besteht. — Fassen wir nun aber die gegenseitige Lage dieser Hügelzüge in's Auge, so sehen wir, dass sie von *Wollishofen* und der *Neumünsterkirche* an sich einander immer mehr nähern; könnte man bestimmt nachweisen, dass, wie es höchst wahrscheinlich wirklich der Fall ist, der *Lindenhof*, die Höhe des *Kirchhofs St. Anna*, die Grundlage des bloss zum Theil durch Kunst erstellten *Hügels der Katze*[1] aus gleichem Material bestehen, so hätten wir vor unseren Augen das vollständigste Abbild der Schuttwälle, welche ein Gletscher an seinem untern Ende bildet, wenn er eine Zeit lang anwächst und vorrückt. — Diese in Zürich nicht ganz deutliche Verbindung der Seitenmoränen durch eine Endmoräne ist dagegen besser erhalten in dem Walle, der zwischen *Kloster Fahr* und *Schönenwerth*, mit einziger Unterbrechung durch die *Limmat*, sich an den Längenwall anschliesst, der über *Schlieren* nach *Altstätten* hinauf sich erstreckt. — Auch bei der *Würenloser Trotte* und weiter unten bei *Würenlos* finden sich noch solche, die Thalebene quer durchziehende aus lauter *Findlingen bestehende Wälle*. — Ein recht deutliches Beispiel eines derartigen bogenförmigen zwei *Längenwälle* verbindenden Querwalls sehen wir auch im *Glatthal;* er erstreckt sich, hie und da mit kleinen Unterbrechungen, in Gestalt einer schroff aus der dortigen Torfebene aufsteigenden Hügelreihe aus der Gegend von *Hegnau* über *Gfenn* gegen die *Glattbrücke* bei *Dübendorf* und gehört mit den mächtigen, den Boden hoch bedeckenden Blöcken bei *Fällanden* offenbar zu Einem Ganzen. — Ein noch vollständigeres Abbild

[1] E. et H. Bei einer Arbeit, die seither im botanischen Garten an der Westseite der *Katze* vorgenommen worden ist, hat es sich nun in der That gezeigt, dass das Innere des Hügels aus solchem Blockmaterial besteht; in der gemachten, etwa 30 Fuss (9m,75) langen Entblössung, kamen nächst sehr vielen kleinen *scharfkantigen Stücken alpiner Kalksteinarten*, auch mehrere 3—5 Fuss (1 mètre à 1m,60) lange Blöcke *alpiner Nagelfluh* zum Vorschein.

eines *Gletscherendes* sehen wir oberhalb *Bremgarten* sich von *tenschwyl* über das Kloster *Hermetschwyl*, mit einziger Unterb chung durch die *Reuss*, gegen *Lufikon* hin fortsetzen und d sich verbinden mit den mächtigen Blockablagerungen von *Lu hofen*. —Der ausgezeichnetste derartige *moräneartige Wall*, der s in der mittlern Schweiz erhalten hat, ist aber wohl der, welc das Nordende des *Sempachersees* als 100 bis 500 Fuss (32 à 1 mètres) hoher und ebenso breiter, *bogenförmiger Damm* um und sich einerseits an die *Blockablagerungen des Sempacherberg* anderseits an diejenigen von *Wartensee* anschliesst. — Stimm nun die bisher erwähnten Erscheinungen vollständigst überein denjenigen, welche die jetzigen Gletscher unter unseren Augen h vorbringen, so verhält es sich ebenfalls ganz gleich in Hinsicht Vertheilungsweise der *Fündlinge* je nach der Lage ihrer Stammo — An den *jetzigen Gletschern* sehen wir, dass die Blöcke, die einem oder mehreren benachbarten Felsköpfen auf sie hinabfal und mit ihnen thalauswärts rücken, der Art der Bewegung gem auf eine grosse Strecke hin beisammen bleiben; erst weiter un findet aus früher erwähnter Ursache allmählich die Vermisch der Blöcke verschiedener Stammorte statt.

Denken wir uns nun einen mächtigen Gletscher aus Bündten (C sons) herab sich durch's *Wallenseethal* hinab erstreckend, ei andern aus *Glarus* hervortretend, so vereinigen sich diese in Gegend von *Weesen* und rücken gemeinschaftlich wie die bei *Arme des Aargletschers* durchs *Gaster* hinab über den *Kanton Zü* hin; die von den *Kurfürsten* und vom *Speer herstammenden M nen und Blöcke* werden sich also gegen Nord-Ost hin finden; die *Mittelmoräne* (moraine médiane), vom *Schiltstock* ausgehend, ni dem *Zürichsee*, und die vom *Freiberge*, vom *Glärnisch*, *Rautis Hirzli* und den Bergen des *Silthals* herstammenden gegen die Gr des *Reussgebietes* hin.

Genau so ist es in der That auch der Fall. — Südwestlich *Zürichsee* finden wir die Gesteine des eigentlichen *Linththals* Streifen zwischen *Schmerikon* und *Zürich* bestehen fast alle Bl aus dem *rothen Ackerstein* des *Schilt* und der *Murgberge;* diejen östlich vom *Greifensee* und *Grüningen* aus den *Kalksteinen* der *fürsten* und der *Nagelfluh des Speers*. Wo möglich noch schlage

als die bisher aufgezählten Ähnlichkeiten ist die folgende : wo die Richtung der Thäler, statt gerade zu sein, gebogen ist, wie es z. B. am *Aar-* und *Aletschgletscher* der Fall ist, da folgen die Gletscher und mit ihnen die Moränen in wahrhaft eleganter Wendung dieser Krümmung; wo dem Gletscher ein Berg im Wege steht, da theilt er sich in zwei Arme und von seinen Moränen folgen die einen dem einen, die anderen dem andern Arme. — Beide Verhältnisse vereinigt, stellen sich uns dar in der Gegend zwischen dem *Vorderrhein* und der *nordöstlichen Schweiz.*

E. et H. 4. Bei *Chur* (Coire) macht das Thal bis gegen *Sargans* hin ungefähr einen rechten Winkel. — Die Blöcke des ausgezeichneten, in den ganzen Alpen nirgends als im *Ponteljastobel ob Trons* vorkommenden Granits folgen genau der linken Seite des Thals und ziehen sich in unzähliger Menge längs dem *Calanda* gegen *Ragatz* hin. Nicht ein einziger solcher Block ist weder an der rechten Seite des *Vorderrheinthales* noch an den Bergseiten zwischen *Chur* und *Meyenfeld* gefunden worden. — Bei *Sargans* theilt sich das Thal wie das des *Vieschgletschers* ob dem *Titter;* in dieser Entfernung vom *Stammorte* mögen die *Ponteljasgranite* bereits etwas zerstreut gewesen sein; denn von da an finden wir sie längs der linken Seite des *Rheinthals* und im Thale des *Wallensees;* vereinzelte Blöcke davon selbst über Zürich hinaus ; einer der entferntesten liegt nahe bei *Katzrüti*, dem Stammsitz des philosophischen Bauers **Kleinjogg**. — Der Weg, den diese Granite des *Ponteljastobels* zurückgelegt haben, ist also ein *spitzwinkliger Bogen.* — Ganz ähnliches lässt sich nachweisen von den aus dem *Prättigau* stammenden charakteristischen *Gneis- und Hornblendeblöcken*, so wie von allen aus dem *Oberwallis* (Haut-Valais) in die ebne Schweiz gelangten Blöcken. Diese Thatsache, dass die Blöcke in der angegebenen Weise rechtwinklige und spitzwinklige Wege zurückgelegt haben, beweist für sich schon auf's klarste, dass sie durch keinerlei heftig und schnell wirkende Kraft von den Stammorten an ihre jetzigen Fundstellen hin gelangt sind. Wären die *Ponteljasblöcke* durch eine gewaltige stossartige Bewegung, oder durch eine *Fluth*, oder durch *schwimmende Eisberge* (glace flottante) von ihrem Geburtsorte weggeführt worden, so wäre es völlig unbegreiflich, dass auch *nicht Einer* derselben weder an die südliche Thalseite, noch an den Bergen ob

Bassin du Rhin. Coire à Ragatz etc.

Chur (Coire) abgesetzt worden sein sollte. — *Bogenförmige Wäl ferner* (moraines arquées), *wie die angeführten, hat noch kein Mens durch Wirkung von Wasser gebildet gesehen; das Wasser kann d Art seiner Wirkungsweise gemäss keine dergleichen ablagern.* — Fa sen wir aber die Gesammtheit der besprochenen Erscheinungen, a die sich übrigens noch eine ziemliche Zahl anderer anschliesst in's Auge, so lässt sich der Zusammenhang, in dem sie sämmtlic unter einander stehen, unmöglich verkennen.

Matériaux erratiques transportés par d'anciens glaciers.

E. et H. 5. *Abgeschliffene und bekritzte Felswände* (roches polie rayées, striées), *lose bekritzte Steinstücke*, das Dasein von *gletsche artigen Wällen*, ihr Verlaufen in zerstreute *Blockablagerungen* ur die Marschrouten der *Findlinge* stellen sich dar als die Wirkung einer und derselben Ursache, und diese Wirkungen *gleichen den der jetzigen Gletscher so vollständig, wirklich wie ein Ei dem an dern, dass es uns ergeht, wie es* **Hrn. v. Charpentier** *ergang ist, wir können nicht länger zweifeln, dass diese Erscheinungen dur Gletscher bewirkt worden seien.* Nehmen wir unsere Zuflucht z dieser Annahme, so erklärt sich auch eine andere, sonst rein u begreifliche Thatsache von selbst; sie besteht darin, dass die G *röllmassen*, welche z. B. die jetzigen *Ufer des Rheins*, unterha dem *Bodensee* bilden, grossentheils aus *Bündten* (Grisons) herstar stammen[1]; hat einst ein Gletscher eine Brücke gebildet über d tiefe und lange Becken des *Bodensees* hin, so begreift sich' dass diese *Geschiebe* aus den Hintergründen *Oberhalbsteins* na *Konstanz* und weiter hinab gelangen konnten, ohne diese Annahr

[1] E. et H. So der Umstand, dass manche der von den Stammorten entferntesten Blö doch zu den allergrössten gehören, ferner die vorherrschende *Scharfkantigkeit* (blocs a guleux) der Blöcke, die *Riesentöpfe* (marmette de géants), die Neigung mancher geschi teter Ablagerungen von der Mitte des Thales gegen die Gehänge der benachbarten Be hin u. s. f. (Siehe hierüber **J. de Charpentier** oben cit. Werk.)

[2] E. et H. Ähnlich verhält es sich mit allen den zum Theil sehr ausgedehnten und mä tigen *Geröllmassen*, die sich unterhalb dem Auslauf der anderen Alpenseen befinden. enthalten die bis 80 Fuss (26 mètres) hohen Abrisse der zum Theil bei 2 Stunden brei *Geröllebenen* im Kanton *Luzern* und im *Aargau* sehr viele Geschiebe, welche von *Gr hard*, aus dem *Berneroberland* und *Wallis* herstammen; im *Silfeld* unterhalb *Zürc* im *Glattthal* u. s. f. kommen Gesteine des *Vorder-Rheinthals*, *Julier-* und *Albu Granite* als Geschiebe vor; von allen diesen Steinarten findet sich keine Spur in *Nagelfluh der Molasse*; ihre Geschiebe sind also erst nach der Bildung der Thäler den Stammorten an die jetzigen Fundstellen hingebracht.

nicht. — Die Hypothese eines eine Zeit lang *kältern* Klimas als das jetzige ist, in unsern Gegenden, findet gewiss sehr unerwarteter Weise auch eine Bestätigung in den Ueberresten der organischen Welt aus der damaligen Periode.

Vallée du Rhin jusqu'à Mayence.

E. et H. 6. Es enthält nämlich u. a. eine fast bloss aus feinem *Sand* und *Schlamm* bestehende, *Löss genannte Ablagerung,* die sich im *Rheinthal* bis unter *Mainz* (Mayence) hinab erstreckt, und welche wie die Fündlinge unserer Gegend zu den jüngsten vorweltlichen Gebilden gehört, eine sehr grosse Zahl höchst zarter und doch so wohl erhaltener *Schaalen von Landschnecken*, dass sie offenbar nicht aus grosser Ferne herbei geschwemmt sein können, sondern in der Nähe ihrer Fundstellen gelebt haben müssen. — Diese Schaalen gehören fast sämmtlich Arten an, die jetzt noch in unseren Gegenden leben, aber bloss an schattigen und feuchten Stellen; einige davon sind ächte *Alpenbewohner* und finden sich bis in 7000 Fuss Meereshöhe (2275 mètres altitude); es fehlen dagegen alle die Arten, welche warme Standorte lieben. Gleichzeitig mit diesen Schnecken scheinen in diesen niederen Gegenden des Rheinthals aber auch *Murmelthiere* (marmottes) gelebt zu haben. Nehmen wir also an, die Gletscher der Alpen haben einst wirklich ungefähr bis an die Grenzen der Farben auf der Karte hingereicht, so können wir uns ihre Wirkungsweise wohl etwa in folgender Weise denken: die entferntesten und am höchsten liegenden Blöcke wurden offenbar abgesetzt, als die Gletscher vom Beginn ihres Wachsthums an den höchsten Stand erreichten. — Der Anblick, den die Gegend damals einem Beschauer gewährt hätte, möchte ungefähr ähnlich gewesen sein dem, welcher uns jetzt Winterszeit auf der Höhe der *Uetlibergs* zu Theil wird, wenn fast das ganze Flachland zwischen den im hellen Lichtglanz strahlenden *Alpen* und dem *Jura* durch ein Nebelmeer bedeckt ist; kaum aber hätten wir uns damals der milden Luft zu erfreuen gehabt, welche uns jetzt dort erwärmt, wenn wir aus dem kalten Nebel heraufgestiegen, den sonnigen Gipfel erreicht haben. — Alle die Ablagerungen, welche sich zwischen diesen entferntesten und am höchsten liegenden Fündlingen und den jetzigen Gletschern befinden, gehören dann der vermuthlich sehr langen Periode an, während welcher die Gletscher sich allmählich verkleinert haben. — Dass diese Abnahme aber nicht stetig vor sich gegan-

Marmottes. Jadis dans la vallée du Rhin.

gen ist, sondern dass sie zeitweise wieder mit Vorrücken abwechselte, geht hervor aus dem Dasein der zahlreichen *Seiten- und Endmoränen*, indem allen unseren Erfahrungen zufolge dergleichen *Moränen* sich nicht bilden bei ununterbrochener Verkleinerung der Gletscher. — Nachdem also die Gletscher sich so verkleinert hatten, dass ihr Ende z. B. nicht mehr hoch an den Kamm der Lägern hinauf reichte, sondern sich in *Limmatthal* unten befanden, trat wieder ein Vorrücken ein, dessen Resultat der Wall beim Dorf *Würenlos* ist. Der Gletscher wurde dann abermals kürzer, rückte aber wieder vor und bildete den Wall der *Würenloser Trotte* u. s. f., bis er nebst den übrigen, nun auf die Thaltiefen beschränkten Armen, innerhalb der jetzigen Grenzen zurückgedrängt wurde. Nun tritt uns aber die Frage entgegen, ob es möglich, mit den Gesetzen der Physik vereinbar sei, dass die Gletscher einst von ihrem Stammorte bis an die bezeichneten Grenzen hin vorrücken konnten. — Die Rechnung zeigt, dass für die entferntesten und höchsten der bekannten Alpenfündlinge, d. h. für die am Thore der *Festung Hohentwiet* liegenden, aus den *Bündtnerbergen* (montagnes des Grisons) zwischen *Avers* und *Oberhalbstein* stammenden Blöcke sich ein Gefäll von ungefähr 2/3 Grad oder 11 bis 12 Fuss auf 1000 Fuss (11 à 12 mètres par 1000 mètres) ergibt. Der obere Theil des *Mer de glace in Chamounix* und des *Aletschgletschers*, welche zu den flachsten Gletschern gehören, mag dagegen eine Neigung von 3 Grad oder 52 Fuss auf 1000 Fuss (52 mètres par 1000 mètres) also eine 4 bis 5 Mal stärkere Neigung haben.

(?) Die Beobachtung an den jetzigen Gletschern zeigt uns aber, dass sie, ganz ähnlich wie das Wasser, bei gleicher Neigung um so rascher vorrücken, je höher und mächtiger sie sind, indem die Reibung am Boden und an den Seiten bei einem mächtigen Gletscher verhältnissmässig viel geringer ist als bei einem kleinen.

Die Annahme, ein mehrere tausend Fuss mächtiger Gletscher habe auch bei dem geringen Gefäll von 11 bis 12 Fuss auf 1000 Fuss doch vorrücken können, ist also mit den Gesetzen der Physik durchaus nicht in Widerspruch.

Extension (accroissement), retrait (diminution) des glaciers.

E. et H. 7. Hierüber beruhigt, drängt sich uns dann aber fast unwillkührlich die Frage auf, was wohl der Grund einer so bedeutenden Veränderung des Klimas gewesen sei. Ueber die Ursachen, welche ein so gewaltiges Anwachsen der Gletscher hervorgerufen

haben mögen, herrscht indess dermals ein noch so tiefes Dunkel, dass es hier geeigneter sein wird, dasselbe als ein *fait accompli* anzunehmen [1].

Ebenfalls noch in's Dunkel gehüllt sind die Ursachen, welche die alten Gletscher zum Rückzug gezwungen und die Eiswüsten in das schöne Land umgewandelt haben, welches wir bewohnen. Doch

[1] Würde die Zeit des *Blocktransports* unmittelbar der Erhebung der Alpen folgen, so könnte man die Umänderung des zur *Molasse-Zeit* in unseren Gegenden noch *mittelmeerischen Klimas* in das *Gletscherklima* nicht ohne Wahrscheinlichkeit diesem gewaltigen Erhebungsprozesse zuschreiben (s. **Charpentier**, S. 311 u. ff.), durch den die Wasserscheide der Alpen in ihrer jetzigen Grossartigkeit entstanden und vermuthlich die früher grossen Theils im Meeresniveau (niveau de la mer) befindliche flache Schweiz zu ihrer jetzigen Höhe emporgestiegen ist. Zwischen die Erhebung der Alpen und den Transport der Blöcke fällt aber, wie schon oben erwähnt, die Ausbildung der Thäler und die Periode der *Schieferkohlen*, deren Pflanzenreste, hauptsächlich *Fichten* (pins), *Birken* (bouleaux), *Wachholder* (genévriers) und *Sumpfgräsern* (plantes de marais) angehören, welche Prof. **Heer** von den gegenwärtig bei uns in feuchten Gegenden wachsenden noch nicht mit Sicherheit hat unterscheiden können. Prof. **Studer** sagt daher wohl nicht mit Unrecht (Leonh. und Bronn. Jahrb. 1841, S. 682): «Die Verbreitung der Blöcke mit diesem Ereigniss (Aufrichtung horizontaler Lager zu vertikal stehenden Gebirgsketten und die gänzliche Umgestaltung der Oberfläche des Landes nach Berg-, Thal- und Strom-Gebieten) in ein Causal-Verhältniss zu setzen, scheint mir beinahe so gewagt, als wenn man die französische Revolution vom trojanischen Krieg herleiten wollte.» Den Verlauf dieser Vorgänge kann man sich übrigens vielleicht ungefähr in folgender Weise vorstellen: bei der durch unterirdische Kräfte bewirkten Zerreissung und Aufrichtung der Schichten in den Alpen und der als unmittelbares Resultat daraus hervorgehenden Entstehung von *Längenketten* und *Längenthälern* sind offenbar auch mächtige *Querspalten* entstanden, welche sich wohl an vielen Stellen über das Gebiet der aufgerichteten Schichten hinaus erstreckten; so z. B. mag der Riss des *Linththales* bis nördlich über *Rapperschweil* hinaus vorgedrungen sein in die Gegend des jetzigen untern *Zürichsees*, an dessen Stelle wohl noch ein mehr oder minder zertrümmerter Rest der *Molasse-Gesteine* sich befand, welche bis zur Erhebung der Alpen eine ziemlich gleichförmige, dem jetzigen Tieflande zwischen dem *Himalaya* und *Vorder-Indien* vergleichbare, Ebene gebildet haben mögen, während der Revolution in den Alpen aber, mit Beibehaltung der Horizontalität ihrer Lagen, um 1200-1800 Fuss (400-600 mètres), Höhe der wagrechten *Meeres-Molasse* ob dem Meer, emporgestiegen waren; in der *Linththalspalte* werden sich die Gewässer der Umgebungen gesammelt und sich einen Ausweg eröffnet haben quer durch den ihnen nordwärts vorliegenden *Molasse-Damm* hindurch, in welchem sie bei der Lockerheit des Gesteins und dem sehr starken Gefäll sich bald ein tiefes Bett einschnitten, das sich unter Mitwirkung der vom allmählich sich verkleinernden *Molasse-Plateau* zufliessenden Seitengewässer dermassen verbreitete, dass von ihm am Ende nur noch die gegenwärtig als Bergrücken uns erscheinenden Höhenzüge des *Albis* und *Pfannenstiels* übrig blieben. — So veranlassten die *Querspalten* der Alpen die Ausbildung der jetzigen Stromthäler, welche sämmtlich eine auf den Verlauf der Alpenkette

lässt sich darüber eine Vermuthung aufstellen, die vielleicht nicht alles Grundes entbehrt.

Uebersteigen wir Winterszeit (hiver) einen unsrer *Alpenpässe* (côte des Alpes), so erstaunen wir über die gewaltigen Massen von Schnee, die an manchen Stellen aufgehäuft und vom Sturmwind (neiges ventées) zusammengeweht worden sind. — Besuchen wir dieselbe Gegend wenige Monate später, so erkennen wir uns kaum mehr:

ungefähr rechtwinklige, also dem stärksten Fall entsprechende Richtung haben bis in die Gegend, wo die festeren Gesteine des *Jura*- und *Schwarzwaldgebirgs* (Forêt-Noire) der Erosion der *Alpengewässer* eine Grenze setzten. Der Widerstand, den der *Jura* der Auswaschung leistete, springt namentlich in die Augen in dem bald breitern, bald schmälern *Erosionsthal*, welches die *Lägernkette* von den südlichen *Molassezügen* scheidet und welches, zum Theil in grösseren Dimensionen, im *Aargau*- (Argovie) und *Solothurnergebiet* (Soleure) längs dem Südostfuss des *Jura* sich hinzieht und ungemein anschaulich darauf hinweist, dass die von Südost herkommenden Gewässer hier an der Grenze der lockern *Molasse* gegen den harten *Kalkfels* von ihrem bisherigen Laufe abgelenkt und zu einer damit ungefähr rechtwinkligen Richtung gezwungen wurden. Ob der *Rheinlauf* längs dem Südabfall des *Schwarzwaldes* (Forêt-Noire) ebenfalls hauptsächlich solcher Auswaschung längs der Grenze zwischen dem *Gneiss* und *Granit* und dem lockern Gebilde des *bunten Sandsteins* (grès bigarré) zuzuschreiben ist, mag einstweilen dahin gestellt bleiben; sicher aber scheint zu sein, dass da, wo die Ströme quer durch *Juraketten* hindurch fliessen, z. B. die *Limmat* bei *Baden*, die *Reuss* bei *Birmenstorf*, die *Aare* bei *Wildegg*, *Schinznach* und im *Siggenthal*, bereits Spalten vorhanden waren, die vom Gewässer wohl benutzt und erweitert worden, aber nicht durch dasselbe entstanden sind.

Die Sohle (sol) der meisten dieser Thäler ist damals wohl bedeutend tiefer gewesen als gegenwärtig, hat wenigstens bis in die Tiefen hinab gereicht, in denen noch Geschiebe vorkommen, deren Steinarten sich nur in den Hochalpen, nicht aber unter den Geschieben der *Nagelfluh* (gompholithe) vorfinden; denn die *Geschiebe der Hochalpen* mussten damals, wie jetzt, in den nächsten Wasserbecken liegen bleiben, deren Ueberreste unsere jetzigen *Alpenseen* (lacs alpestres) sind; und wenn man erwägt, dass z. B. der *Boden*-, *Wallen*- und *Zürichsee* im Anfang dieser Periode wohl ohne Zweifel einen zusammenhängenden See gebildet haben, so liegt klar vor Augen, welche Verwendung die damaligen *Alpengeschiebe* gefunden haben; das durch die Flüsse aus der mittlern Schweiz weggeschwemmte *Molassematerial* aber mag theils in untern *Rheinthal* Alluvionen bewirkt haben, theils dem Meere zugeführt worden sein.

Während oder nach diesen Vorgängen, jedenfalls erst seitdem die Ufer des *Bodensees* (lac de Constance), der untere *Buchberg* und der *Hummelwald* bei *Utznach*, das *Aarthal bei Thun*, das *Thal von Chambery*, die Gegend des *Ortasees*, die von *Gandino* in *Seriana*, also überhaupt das ganze Alpengebiet den Haupttypus seiner jetzigen Form erhalten hatte, lebten die Pflanzen, deren Reste uns in den *Schieferkohlen* (lignites) erhalten sind, und mit ihnen nebst *Ochsen* (bœufs) auch das *Mammuth*, welches sich im *Dürnten* z. B. bei seiner Nahrung begraben findet.

Als Ursache der Umwandlung des damaligen, dem jetzigen wohl ziemlich ähnlichen,

statt der langen Schneelehnen (pentes de neige), über die wir im Winter herabgerutscht sind, finden wir jetzt bedeutende Felswände, von einander getrennt durch *Schutthalden* und *Weideplätze*, an deren zwar kurzem, aber würzigem Grase die Schaafe sich erlaben. — Wie, fragen wir, wodurch ist in diesen Höhen eine so rasche, fast unglaubliche Verwandlung möglich? « Das thut der *Föhn*, » (vent très-chaud, vent du sud), antwortet uns der Hirt und theilt uns

vielleicht etwas kältern Klimas in das der supponirten *Gletscherzeit*, betrachtet Prof. **Walchner** die letzte nordeuropäische Senkung und die damit verbundene Einwirkung der *eisigkalten Gewässer* (eaux froides comme glace) des *Polarmeeres* und seiner *Eismassen*. Jedenfalls stellt sich, nach unserer jetzigen Kenntniss von der Wirkung der Naturkräfte, als unzweifelhaft dar, dass die *alpinen Geschiebe* und *Blöcke*, welche in der nun folgenden Zeit bis in sehr grosse Entfernungen vom *Alpengebirge* abgelagert (déposées) worden sind, dahin nicht gelangen konnten, ohne dass eine Brücke (pont) über die Seetiefen (fond des lacs) hin gelegt war, und unter solchen Brücken erscheint eben eine von Gletschereis (glace de glaciers, glacier) als die wahrscheinlichste. Wie, auf welche Weise das Gletschereis sich durch die Tiefe der jetzigen Seebecken (bassin des lacs) hindurch bewegt habe, ist allerdings noch nicht recht klar; über diesen Mangel an Einsicht darf man sich indess um so weniger verwundern und ihn als Einwurf geltend machen, da man noch nicht einmal weiss, ob und wie das Wasser aus der Tiefe der Seen an ihre Mündungen hingelangt.

Aus der Gegenwart von der *Molasse-Nagelfluh* fremden, bloss in den Hochalpen heimischen Steinarten in fast sämmtlichen *Geröllablagerungen* unterhalb der *Alpenseen* (lacs alpestres), folgt, dass der grösste Theil der Gebilde in der Schweiz, die gewöhnlich *Diluvium* genannt werden, in der *Gletscherzeit* abgelagert worden sind und daher unterschieden werden müssen von den Gebilden, welche älter sind als der Transport der *Alpengeschiebe* über die Seebecken hin. Von solch älterm *Diluvium* ist mir aber in der nordöstlichen *Schweiz* ausser den *Schieferkohlen* bloss eine 10 bis 50 Fuss (3m,2 à 16m,2) mächtige *Ablagerung* (dépôt, amas) bekannt, welche die Decke der *Schieferkohlen* von *Dürnten* bildet.

Der allerdings auffallende Umstand, dass in den geschichteten *Geröllmassen* der *Stromthäler* (vallées de torrents) keine grosse Fündlinge (blocs erratiques), sondern nur gerundete (arrondis), höchstens einige Kubikfuss haltende Geschiebe bekannt sind, mag seine Erklärung, neben der durch die Abrollung im Gewässer erzeugten Verkleinerung, darin finden, dass die zwischen das *Gletschereis* (glacier) und den Boden gelangten Bruchstücke einer verhältnissmässig starken Abnutzung unterlagen; auch unter den jetzigen Gletschern sind (so weit die freilich sehr unvollständigen Beobachtungen reichen), noch keine grosse Blöcke gesehen worden. Dass an diesen Geschieben der Geröllagen keine Gletscherkritze (stries) vorkommen, ist sehr natürlich, da solche, wo sie vorhanden waren, durch die gegenseitige Abreibung der Geschiebe bei der Bewegung im Wasser bald verloren gehen mussten, wie die Untersuchung der Geschiebe in jetzigen Gletscherbächen zeigt.

Nach dem Bisherigen ist es fast überflüssig zu bemerken, dass die sämmtlichen *Geröllmassen der Alpenthäler* durch *Ströme* und nicht etwa durch *Meerwasser* abgelagert

zur Bekräftigung den Spruch mit: « *Der lieb Gott und die guldi Sunn vermöged nüd, wenn der Föhn nüd chunt.* »

E. et H. 8. Wir alle haben in diesem Winter hier in Zürich die Wirkung des Föhns erlebt. Vor Neujahr war die ganze Landschaft hoch mit Schnee bedeckt; wenige Tage *Föhnluft* reichten aber hin, um trotz des hart und tief gefrornen Bodens den Schnee in unserer ganzen Umgebung, selbst an den schattigsten Stellen des *Uetliberges* und bis

worden sind, in der That sind letzterer Annahme nicht nur die Niveau- und Terrainverhältnisse höchst ungünstig, sondern die völlige Abwesenheit aller und jeder marinen Produkte in sämmtlichen Gebilden, welche jünger als die *Meeresmolasse* sind, und in noch höherm Maasse das in den Geröllagen allgemeine Vorkommen kleiner Unregelmässigkeiten und Eigenthümlichkeiten der Schichtung, die Necker de Saussure unter dem bezeichnenden Namen von *structure torrentielle* zusammengefasst hat, beweist aufs einleuchtendste die Ablagerung durch Gebirgsströme.

Endlich mögen noch die tiefen Rinnen erwähnt werden, welche die Ströme in den Geröllebenen, ihren alten Betten, an manchen Stellen bis tief in's anstehende Gestein hinab sich ausgehöhlt haben (*Rhein* unterhalb *Schaffhausen* nebst allen seinen Zuflüssen bis zu den *Alpenseen* hinauf, also *Limmat* bis *Zürich*, *Reuss* bis *Luzern*, *Aare* bis *Thun* u. s. f.). Dass nämlich der jetzige Lauf ganz unabhängig von gewaltsam entstandenen Spalten bloss aus der Erosion ihres Wassers hervorgegangen ist, ergibt sich völlig klar aus seinen häufigen Serpentinen, welche ein treues Abbild sind des gekrümmten Laufes eines mit schwachem Gefäll eine Ebene durchschlängelnden Baches.

Diese tieferen Einschnitte der Ströme finden sich mit wenigen, wohl sämmtlich von lokalen Ursachen herrührenden Ausnahmen, hauptsächlich *unterhalb den Seen*; es taucht daher unwillkührlich die Muthmassung auf, dass, wenigstens in unseren Gegenden, das Einschneiden der Flüsse in ihre Betten begann, als die Gletscher nahe gegen ihre jetzigen Grenzen zurückgewichen waren und sämmtliches aus dem Hochgebirge der Thaltiefe zugeführte Geschiebe sich in die Seen versenken konnte, die damals noch bedeutend grösser als jetzt gewesen sein mögen; denn durch diese Ablagerung des *Alpengeschiebes in den Seen* wurde den Strömen *unterhalb* der letzteren eine grosse Last abgenommen, also ihre Kraft zur Aushöhlung in gleichem Masse verstärkt, und so vertieften sie ihre Bette bis in das jetzige Niveau hinab, in welchem sie, im Ganzen genommen, in Folge des bedeutend verminderten Gefälls, bloss so viel Stosskraft behalten haben als zur Fortbewegung des von den Nebenflussen ihnen zugeführten Geschiebes nöthig ist.

Am Schlusse dieser Betrachtungen mag noch die Frage aufgestellt werden, ob nicht die im Erosionsgebiete der Stromthäler befindlichen und ihrer Richtung folgenden, höchstens bis 150 Fuss (50 mètres) tiefen, Seen, wie der *Pfäffiker-*, *Greifen-*, *Baldegger-*, *Sempacher-See* u. s. f., als Ueberreste der *Thalrinnen* aus der der *Gletscherperiode* vorangehenden Erosionszeit zu betrachten seien. Die genannten Seen sind nämlich alle, wie der *Zürichsee*, an ihrem untern Ende umgeben von einem oder mehreren konzentrischen *Blockwällen*, so dass die Vermuthung geweckt wird, die oberhalb befindliche, jetzt vom See eingenommene Tiefe sei während des *Blocktransports* vor Auffüllung bloss darum verschont geblieben, weil Gletschereis bis auf den Boden hinabreichte.

fast an die Kante des hohen Rohnen hinauf weg zu schmelzen. — Jahrgänge also, in denen der Föhn weniger herrscht als in anderen, sind der Zunahme des Schnees und der Gletscher sehr förderlich; ein schlagendes Beispiel dafür ist ihr ausserordentliches Wachsthum im Zeitraum von 1812 bis Anfang der zwanziger Jahre gewesen. — Bliebe aber der Föhnwind so viel als ganz aus, so bekämen wir ein Klima, ähnlich dem, welches jetzt in den südlichsten Theilen von Amerika herrscht; dort aber erstrecken sich Gletscher unter einem Breitengrade, welcher dem von *Lugano im Tessin* entspricht, sogar bis an den Spiegel des Meeres hinab; es kann daher kaum einem Zweifel unterliegen, dass bei solchem kälterm Klima die Gletscher bei uns allmählich wieder das ganze Gebiet bedecken würden, welches sie in der Vorzeit inne gehabt zu haben scheinen. Der Föhnwind würde aber ausbleiben, wenn sein Stammort, die heisse Saharawüste, sich wieder in ein Meer umwandelte; von der Wasserfläche würde nicht mehr, wie es jetzt bei dem von der Sonne erhitzten Boden der Fall ist, ein warmer Luftstrom aufsteigen, welcher nach den die Natur beherrschenden physikalischen Gesetzen in der Höhe der Atmosphäre sich nordwärts wendet und zeitweise als Föhnwind über die Oberfläche unseres Landes wegzieht. — Verschiedene Umstände weisen aber, wie der scharfsinnige **Ritter** schon längst[1] angedeutet hat, in der That darauf hin, dass die *Sahara* in verhältnissmässig sehr neuer Zeit noch ein Meer gewesen ist. Ist dem so, so kann der Föhn damals bei uns noch nicht geweht haben und es stellt sich somit als gar nicht unwahrscheinlich dar, dass wirklich das Aufsteigen eines Theils von Afrika aus den Meeresfluthen das Gletscherklima unserer Gegend in dasjenige umgeändert hat, welches wir jetzt geniessen[2]. — Sicher auch scheint zu sein, dass alle diese Vorgänge statt gefunden haben, bevor die Erde zur Aufnahme des Menschengeschlechtes reif war; im ganzen Gebiete der Alpen weist Alles darauf hin, dass noch

Ritter. Ses conjectures. Anciennement le Sahara était couvert d'eau (une mer à l'époque des anciens glaciers). Les vents du sud (d'Afrique) n'avaient alors point d'action sur les matières gelées.

[1] Erdkunde, t. Ier, p. 396-403, 1817.

[2] E. et H. **Prof. Walchner** (Handb. der Geognosie) ist nach **v. der Wicks** und **G. Forchhammers** Vorgang in Betreff der Änderung *des Klimas in Nord-Europa* geneigt, das Eintreten der höhern Temperatur auch in unseren Gegenden der jetzigen Richtung und Vertheilung des *Golfstromes* zuzuschreiben, und es ist allerdings sehr wahrscheinlich, dass auch dieses Element Einfluss gehabt hat auf die Herbeiführung unseres jetzigen Klimas.

keines Menschen Auge Zeuge war weder von der Zerstreuung der Alpblöcke, noch von einer Ausdehnung der Gletscher, welche ihre unter den jetzigen Verhältnissen mögliche Ausdehnung überschritt.

Ob die Wahl des besprochenen Gegenstandes passend gewesen ist weiss ich nicht, um so weniger als die Erörterung desselben zu einem Resultate geführt hat, das beim ersten Eindruck als ein abenteuerliches erscheinen mag; ich habe ihn dennoch gewählt, weil die Gelegenheit, die Richtigkeit oder die Irrthümlichkeit dieses Resultats mit eigenen Augen zu untersuchen, in unseren nächsten Umgebungen in reichem Maasse dargeboten ist. Er bekräftigt auch den Schluss, den Freund **Heer** aus den Ihnen geschilderten Vorgängen gezogen hat; denn trügt nicht Alles, so sind zur Hervorbringung bloss des Blockphänomens viele Jahrtausende nothwendig gewesen. Dieses selbst aber ist ein so kurzer Moment in der Geschichte der Erde, dass die ganze Periode, welche seit der Erschaffung des Menschen verflossen ist, im Vergleiche zum Alter der frühesten organischen Schöpfungen als eben so verschwindend klein sich darstellt, wie unser Planet hinsichtlich seiner Grösse im Vergleiche zum Weltall.

Das Studium der vom Schöpfer der Welt in die Erdrinde eingegrabenen Schriftzüge gewährt also dem forschenden Geiste, wie das Studium jedes Naturzweigs, nicht nur früher kaum geahnte Erweiterungen unserer Einsicht in den innern Zusammenhang aller Erscheinungen, sondern es lehrt uns *auch Demuth und Geduld.*

PHÉNOMÈNES GLACIAIRES DU JURA.

Introduction.

E. B[1]. L'existence d'anciens glaciers dans le Jura est admise, mais non encore étudiée[2]. Déjà en 1806, **Playfair** faisait venir les *glaciers des Alpes* jusqu'au *Jura*. Après lui, **MM. Venetz** et **de Charpentier** ont donné des explications systématiques du phénomène. En présence de cette grande extension des glaciers des Alpes, confirmée en 1847 par **M. Ch. Martins**, l'existence de dépôts glaciaires jurassiques sur plusieurs points du pied des grandes chaînes qui bordent le bassin suisse a été facilement acceptée, quand **MM. Agassiz, Guyot** et **Lardy** sont venus signaler ces dépôts dans le voisinage des *lacs de Bienne* et de *Neuchâtel*. Enfin, en 1847, **MM. Pidancet** et **Lory** n'ont trouvé aucun incrédule, quand ils ont signalé des dépôts glaciaires avec des roches striées et polies dans l'intérieur des chaînes jurassiques; la distance des points qu'ils ont cités (*Les Rousses, Saint-Laurent*, le *Fort de Joux*, *Sainte-Croix*) indique assez que l'intention qu'ils ont annoncée alors de continuer leurs observations dans toutes les hautes vallées du *Jura*, était fondée sur la certitude d'une vaste extension du *phénomène glaciaire*.

[1] E. A. Extrait des *Actes de la Société helvétique des sciences naturelles*, réunie à Porrentruy, le 2, le 3 et le 4 août 1853, p. 231 et suiv. XVI. *Essai sur les anciens glaciers du Jura*, par **Émile Benoît**, de la Société géologique de France. Planches explicatives; 13 figures de coupes de terrains. 1. Embouchure de la vallée de la Valserine. 2. Vallée des Foules. 3. Château de Montfaucon. 4. Montfaucon. 5. Citadelle de Besançon. Trois Châtels. 6. Perte du Rhône. 7. Frontière suisse et française. Boncourt. Diluvium. Erratique jurassique. Alluvion récent. 8. Chaîne jurassique. Erratique jurassique. Erratique alpin. 9. Sainte-Croix. Mont de la Limasse. Vraconne. 10. Regard vers l'est. Regard et ablation vers l'ouest. Déjettement vers l'est. Déjettement vers l'ouest. Chaîne à grand relief. Chaîne rosée. 11. Coupe de Saxon 12. Développement de Mollendruz au Suchet. 13. Dent de Vaulion. Val de Valorbes. Côtes de Praillieux.

[2] E. A. Le terrain erratique dans le Jura a été décrit par **M. de Saussure.** Voy. les topographes S.

On sait donc maintenant que le *Jura* a eu ses *glaciers propres;* que les *matériaux erratiques des Alpes, des Vosges et de la Forêt-Noire* ont pénétré dans l'intérieur des chaînes jurassiques, ainsi que l'ont depuis longtemps signalé **MM. Thurmann, Gressly** et **Quiquerez,** et l'on peut hardiment conclure de ces faits que les *anciens glaciers du Jura* étaient contemporains de ceux des *Alpes, des Vosges et de la Forêt-Noire.* C'est cette contemporanéité, cette connexion, qui a été surtout l'objet de nos études dans le *Jura.* Pour exposer quelques-uns des faits qui sont venus à notre connaissance, nous nous contenterons de décrire brièvement le *phénomène glaciaire* dans le *Jura méridional.*

Disons d'abord que l'allure des *glaciers dans le Jura* a été tout à fait identique à celle des *glaciers des Alpes* et des *Vosges,* quoique plus restreinte. Dispersion des matériaux dans les vallées environnant la *région glaciaire, moraines* en place dans les vallées intérieures, action des affluents sur les *moraines latérales,* ampleur des *glaciers* proportionnellement à l'étendue des bassins d'alimentation, roches en place *polies et striées* etc. etc., tout se retrouve dans le *Jura.* On verra dans le rapide exposé qui va suivre que nous pouvons distinguer trois formes de glaciers, selon qu'ils sont situés dans les *vallées longitudinales,* dans les *cluses,* ou sur les *plateaux,* et qu'ils ont eu diverses époques d'extension et de retrait.

Vallée de la Valserine.

E. B. 2. **Vallée de la Valserine.** Cette vallée étroite et profonde est située dans un pli *néocomien* entre les deux dernières chaînes du Jura; elle va en ligne droite et avec une faible pente, du pied de la *Dôle* à celui du *Sorgiat* (*Grand-Crédoz* de la carte de l'État-major français), où elle s'ouvre sur un bas plateau *néocomien* qui porte les villages de *Montanges, Champfromier* et *Confort.* Ce plateau offre de nombreuses traces d'*anciens glaciers jurassiques.* Près de *Montagnes,* le pied du *crêt néocomien,* relevé selon la faille qui met le *keupérien* en affleurement, présente des *surfaces moutonnées, polies, striées,* puis recouvertes de *blocs, galets, sable* et *boue glaciaires.* Ces dépôts se rencontrent sur plusieurs points du plateau de l'un et de l'autre côté de la *Valserine,* et revêtent assez haut le pied du *Sorgiat.* Un fait remarquable, c'est que ces *débris glaciaires* de l'embouchure de la *vallée de la Valserine* sont tous et sans mélange d'origine jurassique, tandis qu'au-dessus d'eux, sur le même

nc du *Sorgiat*, on trouve à une grande hauteur des *cailloux al-*
ins épars sur le sol. Ainsi on remarque ces cailloux alpins dans
petit *val de Mantière*, qui est suspendu au flanc du *Sorgiat* et do-
mine la *Valserine;* on les retrouve encore dans le bois qui garnit
les crêtes du *Sorgiat* au-dessus du *Grand Crédoz*. La hauteur à la-
quelle ils se trouvent est de près de 800 mètres au-dessus du cours
de la *Valserine* et du *Rhône;* ils ont sans doute passé par le *Fort-*
l'Écluse; mais au lieu de continuer leur marche vers le midi, ils
auraient tourné autour de la brusque terminaison de la dernière
chaîne jurassique, et remonté ainsi plus ou moins loin dans la vallée
de la *Valserine;* leur arrivée sur les flancs du *Sorgiat* date proba-
blement du commencement de l'*époque glaciaire;* elle fait supposer
que ceux qui ont pu se déposer à des niveaux plus bas et jusqu'au
fond de la *vallée de la Valserine*, ont été ensuite balayés par l'inva-
sion des *glaciers jurassiques*. Quoi qu'il en soit, c'est l'altitude ac-
tuelle des *cailloux alpins au Sorgiat* qui est importante à considé-
rer au point de vue des mouvements orographiques qui ont pu
avoir lieu pendant ou après l'*époque glaciaire*, car elle indique un
exhaussement de la chaîne après leur dépôt; cette idée est confir-
mée par l'étude orographique de la contrée, et corroborée par d'au-
tres exemples pris dans tout le *Jura*.

A partir de la localité qui nous occupe, c'est-à-dire du plateau
de *Montanges*, on voit, en descendant les rives de la *Valserine* jus-
qu'au *Rhône*, les *matériaux glaciaires jurassiques* se mélanger de
plus en plus avec les matériaux alpins, qui deviennent tout à fait
dominants à *Bellegarde*. Si, au contraire, on remonte la *vallée de*
la Valserine, on retrouve le *phénomène glaciaire* purement *juras-*
sique. La vallée, dans toute sa longueur, offre çà et là quelques
restants de *moraines latérales*, mais point de *moraines frontales* bien
marquées, si ce n'est à son extrémité supérieure; ce qui indique
que le *glacier*, après avoir occupé toute la vallée, a éprouvé un re-
trait brusque considérable avant de disparaître tout à fait. Ce retrait
est un fait général dans le *Jura*, et se reproduit identiquement
dans les *Alpes;* il ne faut pas parcourir de grands espaces pour re-
connaître qu'il est indépendant de la longueur des vallées, mais
qu'il s'est produit dans une proportion inverse des pentes, c'est-à-
dire *suivant la loi des lignes isothermes de l'époque glaciaire.*

Vallée de la Semine.

E. B. 3. **Vallée de la Semine.** La *Semine* est un affluent de la *Valserine*, coulant de l'ouest à l'est, depuis près de *Nantua* jusqu'à *Châtillon-de-Michaille*. La vallée, comme beaucoup d'autres dans le *Jura*, est constituée par une suite de *cluses* qui coupent les massifs montagneux plus ou moins perpendiculairement aux directions des chaînes. C'est dans les vallées de cette sorte que l'on trouve les *matériaux glaciaires* en très-grande abondance. Les *glaciers* qui les remplissaient avaient des affluents descendant des plateaux élevés et des hautes vallées de ploiement. Dans la vallée de la *Semine*, ces affluents arrivaient presque tous par la rive gauche, car la rive droite est hautement escarpée, et les plateaux supérieurs qu'elle limite brusquement ont généralement leur pente vers le sud, ce qui fait que les *glaciers de ces plateaux* se déversaient peu dans la vallée de la *Semine*. Aussi remarque-t-on que les puissants affluents de la rive gauche ont refoulé sur la rive droite les *moraines latérales ;* celles-ci forment actuellement, jusqu'à de grandes hauteurs, des revêtements nombreux, composés de *gros blocs arrondis*, *striés* ou *polis*, de *galets* de toute grosseur, également *usés par l'action glaciaire*, de matériaux *sableux et menus*, le tout confusément mêlé et cimenté par une *boue glaciaire très-abondante faisant l'office de mortier*. Près du village de *Saint-Germain* on voit très-bien cet effet d'un affluent puissant, qu'on doit même considérer comme la branche principale du *glacier*. On y remarque aussi au confluent des deux vallées une sorte de *moraine médiane, triangulaire*, commune aux deux branches. Si l'on remonte les vallées latérales que suivaient les affluents, on parcourt d'assez grandes distances sans rencontrer de *matériaux glaciaires* importants, si ce n'est, au fond des ravins, des *blocs autrement arrondis que n'auraient pu le faire des eaux torrentielles*. Mais quand on arrive dans les régions un peu élevées, là où les plateaux s'abaissent par de larges gouttières qui conduisaient les *glaciers* dans les *cluses* profondes, alors on voit fréquemment des *barrages arqués*, plus ou moins prononcés, successifs, qui ont les caractères et toute la constitution des *moraines frontales*. C'est dans ces régions, c'est-à-dire sur les points de déclinaison des plateaux, qu'on rencontre le plus fréquemment les roches en place *nivelées*, *striées* et *polies ;* pour les voir en parfait état de conservation, il faut toujours détourner les matériaux meu-

les qui les recouvrent et qui les préservent de l'action corrosive des agents atmosphériques.

Vallée de Saint-Claude.

E. B. 4. **Vallée de Saint-Claude.** La vallée de *Saint-Claude* est encore une de ces *excavations profondes* formées d'une suite de *cluses* se réunissant en un point où est située la ville, et formant une figure qui ressemble assez à un X, dont une des branches sert d'écoulement à toutes les autres. Les *glaciers* suivaient ces *cluses* et se réunissaient comme le font habituellement les torrents. Aussi la vallée est-elle encombrée d'immenses entassements de *matériaux glaciaires*. Comme dans la vallée de la *Semine*, on voit qu'un puissant affluent descendait par la vallée des *Bouchoux*, et a repoussé sur la rive droite du *Tacon* les débris de roches qui composaient plusieurs *moraines latérales* réunies un peu plus haut. Le dépôt de ces *matériaux glaciaires du fond de la vallée ne date pas de l'époque de la plus grande extension des glaciers, mais d'une époque postérieure*[1], car on trouve plus bas sur les rives escarpées de la *Bienne* des restes de *moraines frontales* reposant sur des roches *moutonnées* et remontant assez haut sur les parois de la gorge étroite qui sert d'écoulement général. Ces *matériaux glaciaires* qui encombrent le fond de la vallée de *Saint-Claude* proviennent évidemment du *travail des glaciers*, après le retrait qui a reporté leur front dans les vallées élevées où ils ont séjourné longtemps; car les *moraines* en place qu'ils y ont laissées sont plus considérables et plus nombreuses que celles que l'on peut rattacher à l'époque de la plus grande extension. Ils ont d'ailleurs, et comme dans toutes les vallées analogues, été remaniés par les eaux pendant l'activité des *glaciers* et offrent une *stratification apparente*, mais confuse; et puis, chose remarquable, ils n'ont généralement plus cette *boue glaciaire* qu'on retrouve cependant sur quelques-uns de leurs talus, lesquels présentent alors tous les caractères de *lambeaux d'anciennes moraines* en place. Évidemment, à une époque moyenne de la *période glaciaire*, le niveau des eaux montait assez haut dans les vallées les plus profondes du *Jura*. On en a une preuve bien évidente dans la structure des *moraines frontales* qui barrent les vallées voisines un peu élevées. Ainsi, près de *Saint-Claude*, dans l'étroite et profonde

[1] D. A. Conclusions très-justes.

vallée des Foules, on voit plusieurs *moraines frontales successives* qui remontent très-haut sur les pentes et dont la partie basse ou centrale est *lavée*, c'est-à-dire privée de la *boue glaciaire qui forme un ciment solide* dans les parties plus élevées que ne baignaient pas les eaux. Bien plus, on voit nettement la ligne de démarcation ou l'ancien niveau des eaux quand la *moraine* a été ravinée et présente un talus très-incliné privé de végétation, ce qui est un cas fréquent. La fig. 2 représente un exemple de ce fait; *au pied de la moraine, les matériaux les plus fins ne sont que du sable lavé ne troublant presque pas l'eau, tandis que si l'on prend dans la partie supérieure du talus, au milieu des blocs et cailloux, une poignée des matériaux de la moraine, et qu'on l'agite dans l'eau, cette eau reste longtemps laiteuse et tient en suspension des molécules excessivement ténues*[1]. On peut estimer à 170 mètres au-dessus des rivières actuelles la hauteur de cet ancien niveau des eaux.

Vallée de Villars-d'Héria.

E. B. 5. **Vallée de Villars-d'Héria.** C'est un val longitudinal étroit, dans un ploiement *portlandien*. Elle offre plusieurs barrages ou *moraines frontales* bien dessinées; les villages de *Villars-d'Héria* et *Petit-Villars* sont assis sur deux de ces *moraines*. Une autre *moraine* se trouve près de *Jeure*, à l'embouchure de la vallée dans celle *de la Bienne;* mais ce dernier *dépôt erratique est plus ou moins remanié et privé de boue glaciaire*. La petite vallée en question est dirigée à peu près nord-sud, elle est peu inclinée et n'a que 600 mètres d'altitude moyenne au-dessus de la mer. Elle servait d'écoulement à un *glacier de plateau* assez vaste, ce qui explique pourquoi les *dépôts erratiques* qu'elle contient sont plus abondants que dans certaines vallées plus grandes et plus élevées de niveau, mais moins alimentées; car la longueur des *glaciers était dans le Jura, comme dans les Alpes, proportionnelle aux bassins d'alimentation*[2].

Plateau de Saint-Laurent ou du Grandvaux.

E. B. 6. **Plateau de Saint-Laurent ou du Grandvaux.** Le plateau de *Saint-Laurent* est très-étendu, irrégulièrement ondulé et formait un *vaste bassin d'alimentation*. Son altitude est en moyenne de 950 mètres. Il offre, sur une foule de points, des traces d'*anciens glaciers*. En 1847, **MM. Pidancet** et **Lory** y

[1] D. A. Parfaitement observé! Boue de glacier à l'état très-divisé sous forme de poudre fine.

[2] D. A. Parfaitement conclu.

signalaient des *roches polies* et des *dépôts erratiques*. Il suffit, en effet, de parcourir la campagne autour de *Saint-Laurent* pour rencontrer à chaque pas des *matériaux glaciaires*. Les *blocs erratiques y sont excessivement nombreux*, dispersés sur le sol, ou réunis par groupes sur certaines pentes ou dans certaines dépressions. Des lambeaux de *moraines* couvrent çà et là le sol et forment des *monticules* ou des *placages* composés de matériaux de toute grosseur, depuis la *boue glaciaire* et le *grain de sable* jusqu'aux *blocs métriques*. Partout ces *blocs* et *cailloux* sont *arrondis* ou *taillés en facettes*, présentant un *poli souvent parfait* et des *stries d'une grande finesse*. Parfois les surfaces *polies* et *finement striées* offrent des *raies blanches et larges*, qui semblent dues au frottement de deux cailloux l'un contre l'autre sans interposition de *boue glaciaire*. Sur plusieurs points on rencontre la roche sous-jacente *nivelée*, *polie et striée*, les *stries* étant en général dirigées suivant la plus grande pente locale. L'arrangement et la dispersion des *matériaux erratiques* font supposer que la grande *nappe de glace* qui couvrait le plateau avait, en raison de l'inégalité du sol, des *moraines sous-glaciaires* [1] et glissait partiellement sur des pentes différentes ou opposées, tout en ayant un mouvement d'ensemble suivant la pente générale du plateau. Cette pente générale va au nord-ouest, c'est-à-dire vers la *vallée de l'Ain*, dans laquelle les eaux du plateau se déversent actuellement par une cluse étroite qui conduit à la *Billaude*. Le *glacier* trouvait là une issue, qu'il a pu franchir peut-être, ce qui est cependant douteux, à l'époque de sa plus grande extension, mais en deçà de laquelle il est resté plus tard. Cependant, à deux lieues plus loin, à *Champagnole*, au pied du *Mont-Rivel* et en général tout le long de la vallée de l'*Ain*, on trouve d'immenses et de nombreux entassements de *matériaux glaciaires*, qui pourraient faire penser que les *glaciers du Jura* ont, dans un temps, poussé jusque-là leurs *moraines frontales*. Mais il est difficile d'admettre cette opinion si l'on considère que ces dépôts erratiques, rangés ainsi en dehors et au pied du massif jurassique, sont constamment remaniés et lavés par les eaux, plus ou moins *stratifiés* ou *triés* suivant les volumes, et souvent dispersés dans les plaines. Comme ces dépôts ne sont pas

[1] D. A. Moraines profondes.

toujours rangés vis-à-vis l'embouchure des vallées et des cluses, il faudrait en outre supposer, ce que l'observation contredit [1], que les glaciers avaient une puissance hors de proportion avec l'étendue de leurs bassins d'alimentation ; qu'ils franchissaient les chaînes de montagnes, ou bien, si on les fait rentrer dans les vallées et les cluses, qu'ils s'épanouissaient en larges éventails dans les plaines qui entourent le massif montagneux du Jura. La preuve que les *glaciers* étaient plus restreints et ne portaient pas un front presque continu hors du massif jurassique, c'est que sur la ligne de ces *moraines supposées frontales*, on trouve sur des roches en place des *stries dirigées en sens inverse* [2]. C'est ce qui se voit très-bien, par exemple, au bord de la route d'*Orgelet à Saint-Claude*, à l'endroit où elle va descendre dans la vallée de l'*Ain*, un peu au-dessus du *Pont de la Pile*. Selon nous, le charriage par des radeaux de glace, le transport par des eaux animées de vitesses variables et alternatives, des débâcles estivales etc. semblent rendre mieux compte de ce phénomène de dispersion (?) Quoi qu'il en soit, nos études dans les *Alpes* et dans le *Jura* nous portent à penser que la vallée de l'*Ain*, puis celles de *Pontarlier* et de *Nozeroy*, ont joué à l'égard des *glaciers du Jura* le même rôle que le *Bassin suisse* à l'égard des *glaciers des Alpes*, et *que des deux côtés les phénomènes de transport et de dispersion sont les mêmes.*

Considérations générales.

E. B. 7. **Considérations générales.** Les exemples que nous venons de citer suffiront pour faire comprendre quelle a été l'allure des *glaciers dans le Jura*, et nous avons pu nous convaincre que le *phénomène glaciaire est partout identique, dans les plus hautes chaînes, comme dans les chaînes moyennes.*

Si maintenant on cherche à limiter l'espace occupé par les anciens *glaciers du Jura*, on voit qu'ils ont envahi toutes les grandes chaînes, *depuis le Rhin jusqu'au Rhône.* A ces extrémités ils étaient en relation prochaine avec ceux des *Vosges et de la Forêt-Noire* d'une part, et en connexion intime avec ceux des *Alpes* d'autre part. La limite de cet espace est facile à dessiner du côté de la Suisse : elle suit le pied des grandes chaînes depuis le *Fort-l'Écluse*, ou plutôt depuis l'extrémité méridionale du *Grand-Colombier*, jusque

[1] D. A. « Ce que l'observation contredit » (?) Voy. les observations glaciaires : *Extension des glaciers anciens.*

[2] D. A. Ces stries qui se croisent prouvent les différentes périodes glaciaires.

près de la fin des *chaînes jurassiques dans le canton d'Argovie*. Du côté de la France, cette limite est difficile à tracer rigoureusement, parce qu'elle passe dans la région des chaînes moyennes; elle paraît faire des sinuosités souvent très-prononcées pour enceindre certains massifs isolément élevés en dehors de la ligne générale; celle-ci passe, depuis l'extrémité méridionale du *Grand-Colombier* ou les localités voisines, à peu près par *Nantua*, *Oyonnax*, *Dortan*, les chaînes de la rive droite de l'*Ain* jusqu'au-*dessous de Clairvaux*, *Champagnole*, *Nozeroy*, *Bonnevaux*, *Pontarlier*, *la Brévine*, *le Locle*, *le Noirmont*, *Saint-Brais*, *Porrentruy*, *Asuel*, et continue vers l'est pour entourer l'extrémité orientale du *massif jurassique*. On conçoit qu'en dehors de cette limite générale il se trouve des limites de petits *glaciers isolés*, *permanents* ou *temporaires*. C'est en effet ce que nous avons remarqué sur plusieurs points : l'étude de ces *glaciers restreints*, dont la vie n'a été souvent qu'une continuelle agonie, nous explique l'origine et l'arrangement de certains *atterrissements disséminés*, de certains *détritus placardés aux flancs des montagnes plus ou moins éloignées de la région glaciaire bien caractérisée*. Par opposition, certains espaces dépourvus d'*indices glaciaires* se remarquent en dedans de cette même ligne générale. On pourrait pousser la limite encore plus au sud que le *Grand-Colombier*, c'est-à-dire jusque dans les environs de *Saint-Genis*, puis sur les flancs du *Molard-de-Dom* et ceux du *Mont-du-Chat*. **M. Lory** a, en effet, signalé dans cette région le mélange de *roches jurassiques* parmi les *débris erratiques alpins* qui couvrent le bas plateau situé au nord du département de l'*Isère*, entre le cours du *Rhône* et celui de la *Bourbe;* mais ici la région est autant *alpine* que *jurassique*, et la connexion des *glaciers* est évidente. Quant à l'existence des *glaciers dans le Jura oriental*, elle est grandement manifestée par les dépôts considérables qui encombrent les vals de *Moutier*, de *Gänsbrunnen*, de *Ballstall*, par les *revêtements erratiques* des crêtes de la partie orientale du *Weissenstein* etc.

Nous avons tout à l'heure fait passer par *Porrentruy* la limite occidentale de l'espace occupé par les *glaciers*. Cette allégation a besoin d'être démontrée. D'abord, on concevra la possibilité de l'existence d'un *ancien glacier à Porrentruy*, en considérant que le niveau est ici de 450 mètres au-dessus de la mer, et qu'en face, au

pied des *Vosges*, la *moraine frontale*, si bien caractérisée, sur laquelle le village de *Giromagny* est bâti, n'est qu'à 434 mètres. L'avenue de l'ancien château de *Porrentruy* s'étend sur une moraine *latérale gauche;* plus loin, de l'autre côté de la Halle, la colline est flanquée d'une *moraine latérale droite*. Le bassin *glaciaire* occupait tout le versant du *Mont-Terrible* depuis *Bressancourt* à *Charmoille*, débouchait partiellement par la *vallée de la Halle*, mais avait probablement son principal écoulement par la large vallée molassique de *Miécourt* et de *Cœuve*. C'était un *glacier de plateau;* il a laissé sur différents points des *moraines sous-glaciaires*[1], dont on retrouve des lambeaux dans toutes les dépressions de la petite chaîne du *Banné*. Le bassin de *Porrentruy* ressemble beaucoup, quoique plus restreint, à celui de *Saint-Laurent*, quant à la position et au mode de l'*action glaciaire*. Cette analogie, dont nous avons vu d'autres exemples, nous porte à regarder comme d'*origine glaciaire* ces dépôts si nombreux auxquels on a donné le nom de *nagelfluhs*, de *gompholithes*. Mais ils ont un *caractère glaciaire* particulier, qui rend compte du classement équivoque qui en a été fait. Disons d'abord que l'époque de la formation de ces dépôts est antérieure à celle de la plus *grande extension* des *glaciers*, et qu'il y a probablement eu interruption du *phénomène glaciaire*, après cette première apparition. Des *observations orographiques* démontrent cette proposition. Vers la fin de l'*époque tertiaire*, les *glaciers* envahirent plusieurs *chaînes jurassiques* nouvellement soulevées et émergées. Ces *glaciers* étaient isolés et ont trouvé les roches encore dans un certain état de mollesse. Aussi, le *glacier* du *bassin de Porrentruy*, qui date probablement de cette époque initiale, a-t-il laissé des *matériaux erratiques* caractérisés par des *stries pâteuses* et par l'*impression*, la *pénétration* réciproque des cailloux en place. Ces *cailloux* ainsi *impressionnés* et *striés* sont dispersés dans les terrains récents des environs de *Montbéliard*, *Delle* et *Belfort;* leur *stratification* et l'*enchevêtrement* qu'ils présentent avec certaines assises *marneuses* et *grésiformes*, pourraient faire croire qu'ils sont en rapport de formation avec la *molasse;* mais nous pensons qu'une étude locale les montrera indépendants et mêlés seulement à de la *molasse* et

[1] D. A. Moraines profondes.

à d'autres *terrains remaniés*. Quoi qu'il en soit, les *cailloux impressionnés* des environs de *Montbéliard*, qui présentent une collection de toutes les assises du *terrain jurassique*, sont pour nous d'*origine glaciaire*, puisqu'on les retrouve presque au point de départ dans le *bassin de Porrentruy*, d'où ils ont cheminé par divers moyens de transport; car les uns, en raison de leur mollesse d'alors, ont pris facilement la forme ovoïde ou elliptique des cailloux roulés par les eaux, tandis que d'autres ont conservé les formes capricieusement *anguleuses des cailloux glaciaires*, et montrent alors un *certain poli* qui rappelle celui des matériaux des *moraines* en place. Mais c'est surtout dans les chaînes du *Jura méridional* que ces *cailloux impressionnés* sur les lieux mêmes où on les voit actuellement sont curieux à étudier. Par exemple, on les trouve au pied de la faille qui passe derrière la citadelle de *Besançon* et suit les flancs de la montagne de *Montfaucon*. Ici ils semblent avoir la même origine que ceux de *Montbéliard*, car *Besançon* est très-loin de toute *station glaciaire*, ce qui n'exclut pas cependant la possibilité de leur trouver un autre point de départ que *Porrentruy*. Leur position élevée sur les flancs des montagnes qui avoisinent *Besançon*, indique un mouvement orographique considérable après la première apparition des *glaciers*.

Ces mêmes *cailloux impressionnés* se remarquent en grande abondance dans les vallées et sur les flancs des chaînes des environs de *Pontarlier*.

Une autre station remarquable est la *perte du Rhône*, où ces cailloux, toujours *impressionnés*, reposent immédiatement sans mélange sur les tranches de la *molasse*, surmontés qu'ils sont bientôt par les *cailloux alpins*, avec lesquels ils sont en relation si intime que l'*origine glaciaire* de ceux-ci ne peut être refusée à ceux-là.

Ainsi, dans le *Jura*, des *matériaux erratiques d'origine jurassique et d'un caractère particulier* ont été déposés avant l'arrivée des matériaux *alpins*, *vosgiens* et *hercyniens*. Dans le *Jura suisse*, **M. Quiquerez** a remarqué que les *cailloux vosgiens de la vallée de Delémont* sont arrivés après le dépôt des *cailloux calcaires*, qui comblaient déjà le fond de la vallée, et cette disposition se reproduit en effet partout.

Tous ces faits indiquent plusieurs périodes encore peu déterminées pendant l'*époque glaciaire*, et tout porte à croire que leur étude apportera quelques modifications dans le classement des terrains les plus récents. Tandis que les *glaciers du Jura* restaient dans l'intérieur des chaînes, luttant isolément contre l'influence de l'agent atmosphérique, ceux des Alpes, plus grandement alimentés, vomissaient par cent bouches d'énormes masses de *roches broyées*, qui, bientôt dispersées au loin suivant un mode de transport particulier à l'*époque glaciaire*, ont formé ces *vastes dépôts* qui comblent actuellement les *vallées du Rhône et de la Saône* et remontent par les vallées de l'*Oignon*, du *Doubs* et de la *Loire*, jusque dans les environs de *Besançon*. Ainsi, par exemple, nous pouvons dire que ce qu'on appelle le *terrain de la Bresse est d'origine glaciaire*, et en grande partie du moins contemporain des *glaciers*, car les matériaux qui le constituent peuvent être suivis depuis les points éloignés des plaines *jusqu'aux moraines en place dans les Alpes*. Ces idées n'ont rien de surprenant quand on envisage l'ensemble et la corrélation du *phénomène glaciaire* dans les *Alpes*, le *Jura*, les *Vosges* et la *Forêt-Noire;* quand on considère les *anciens glaciers* dans leur activité d'abord isolée et indépendante, leur connexion à l'époque de la plus grande extension, puis leur retour à l'isolement régionnaire; quand on examine encore la similitude d'attérissement dans la *grande vallée de la Suisse* et dans les *vallées de Pontarlier*, *Nozeroy* et tout le *cours de l'Ain*.

De l'existence d'*anciens glaciers dans le Jura*, on peut tirer des considérations d'un autre ordre. Par exemple, la dispersion des *plantes alpines* et *vosgiennes* s'expliquera tout aussi bien que la *dispersion des roches granitiques*, surtout si l'on tient compte de l'ancien niveau des eaux dans les grandes vallées.

Avant de terminer cette courte notice, ajoutons notre hypothèse à celles qui ont déjà été faites sur la *cause des glaciers*. Il est un fait physique bien connu qui, selon nous, mérite quelque considération. Si l'on expose vers le ciel, par une nuit claire d'été, un thermomètre reposant sur des matières très-mauvaises conductrices de la chaleur, par exemple, sur un lit épais de duvet, cet instrument perd bientôt sa chaleur propre, par suite du rayonnement de son calorique vers les espaces célestes; et comme il ne peut en re-

prendre à cause de son isolement, on le voit descendre au-dessous de zéro, c'est-à-dire marquer une température de plus de dix degrés plus basse que celle de l'atmosphère ambiante.

Ainsi le rayonnement est une grande cause de froid. Deux thermomètres placés, l'un au milieu d'une marnière, l'autre dans l'herbe du pré voisin, s'abaissent bien différemment pendant une nuit claire, l'herbe ou le feuillage d'un arbre faisant écran pour le dernier et empêchant le rayonnement. Chacun sait qu'il ne gèle pas sous les sapins de nos montagnes. Or c'est surtout à la fin de l'*époque tertiaire* que les plus grandes surfaces continentales ont été émergées. On peut donc admettre que ces surfaces nues et imprégnées d'eau ont dû s'abaisser assez de température, tant par le rayonnement que par l'évaporation, pour déterminer sur tout le globe un froid suffisant à l'existence des glaciers sur les *montagnes qui en sont privées actuellement*. On a calculé qu'une élévation de température de quelques degrés seulement suffirait pour fondre les glaces polaires. **M. Ch. Martins** a dit qu'un abaissement de 4 degrés dans la température moyenne de Genève suffirait pour amener dans le bassin suisse les glaciers actuels des Alpes. La *cause des glaciers* n'est donc pas si extraordinaire et peut s'expliquer par les simples faits des phénomènes actuels. Les reboisements, la dessiccation des terrains, des mouvements orographiques nouveaux auraient ensuite servi de transition au régime actuel.

Addition.

E. B. 8. *Addition.* J'ai pensé qu'il ne serait pas inutile de vous faire connaître, mieux que ne le fait le procès-verbal de la section de géologie, les observations qui ont été émises après la lecture de mon petit mémoire *sur les glaciers du Jura*.

D'abord, aucune objection ne s'est élevée sur l'*extension* que j'ai donnée aux *glaciers dans tout le Jura*, ni sur les conséquences que j'ai tirées de la vaste dispersion des matériaux *glaciaires, alpins et jurassiques*, pour expliquer la formation de certains terrains récents, celui de la *Bresse*, par exemple.

A propos des *nagelfluhs* ou *gompholithes* que j'ai cités, **M. Merian** a dit: « Ainsi l'on attribue *aux glaciers*, outre le *triage des roches* et le *transport des blocs* et autres *matériaux erratiques*, une nouvelle fonction, celle d'*impressionner les cailloux*. » — J'ai répondu que :

« Cette impression, cette pénétration réciproque de certains *blo et cailloux erratiques du Jura* n'est pas due à une fonction *des gl ciers*, mais qu'elle a eu lieu après la dispersion ou le transport qu'elle s'est faite en place et qu'elle est due à l'état de *mollesse a la roche,* ainsi que cela est expliqué dans le mémoire. »

M. Merian a objecté ensuite que : « Tous les *nagelfluhs* connu sont *tertiaires.* » — J'ai répondu que : « Ne m'occupant pas ici d classement des terrains et ne voulant pas actuellement recherch s'il y a eu plusieurs apparitions du *phénomène glaciaire* dans l derniers temps géologiques, je n'avais eu en vue, dans mon mémoi concernant ce qu'on appelle *nagelfluhs* ou *gompholithes*, que ceux ces dépôts qui sont sur la *molasse* et en discordance avec elle, faisa ainsi abstraction de ceux qui peuvent se trouver *stratifiés dans molasse.* » — A l'appui de cette distinction, j'ai rappelé la coupe la *Perte-du-Rhône* et tracé au tableau une coupe que j'avais r marquée le matin même en passant à *Boncourt,* où l'on voit mélange de *matériaux erratiques jurassiques* de toutes grosseu (*blocs arrondis à stries pâteuses, cailloux impressionnés, sables lav* reposant sur la *molasse* et recouverts par un *diluvium* avec *ca loux vosgiens*, qui se répand sur toute la vallée[1]. — Ma répon n'ayant pas été consignée au procès-verbal, après l'objection **M. Merian**, j'ai dû réclamer à la lecture, ainsi que vous vo le rappelez sans doute.

M. Lardy a cité ensuite, sur le *versant oriental de la Dôle, dépôt de blocs et de cailloux* purement *jurassiques* sous des *matéria alpins*, et mis à découvert assez récemment par des travaux route; son observation ayant été omise au procès-verbal, vous vo rappelez aussi qu'il en a réclamé l'insertion. Mais lorsque ce

[1] En retournant à Montbéliard, **M. Contejean** et moi, nous avons exploré l'a côté de la *vallée de la Halle*, vis-à-vis de *Boncourt*, où une certaine éminence arq qui suit la ligne de la frontière, m'avait fait croire, vue de *Delle*, à une *moraine fr tale*. Nous avons bien reconnu, reposant sur le *ptérosérien* et sur le *virgulien*, *dépôt erratique semblable* à celui de *Boncourt* qui est en face ; mais l'*éminence* enti n'en est pas uniquement formée : sa croupe montre bientôt, sous le *diluvium vosgi* la *roche virgulienne* en place. Quoi qu'il en soit de ces deux dépôts et de leur mode transport, ils ont pour moi tous les *caractères erratiques* et sont venus par la *va de la Halle;* vous remarquerez l'analogie de la coupe de *Boncourt* avec celle de la *p du Rhône.*

vation s'est produite, j'ai dit que : « Le dépôt en question est nment dû à un *glacier propre au Jura*, ainsi que le pense **ardy**; qu'on pourrait citer beaucoup d'autres faits analogues g du *Jura*; » pour abréger, j'ai tracé au tableau une coupe que montrant la disposition relative des *matériaux erratiques* ra *et des Alpes le long des grandes chaînes*.

Émile Benoît.

PHÉNOMÈNES ERRATIQUES DANS LES VOSGES.

Vallée de Saint-Amarin.

E. C. 1[1]. **La vallée de Saint-Amarin** est encaissée entre deux ramifications de la chaîne des Vosges ; les points culminants sur la rive gauche sont : le *Ballon de Guebwiller*, 1426 mètres altitude, et sur la rive droite : le *Rossberg*, 1196 mètres; le *Drumont*, 1226 mètres et le *grand Ventron*, 1209 mètres. Elle est fermée au fond par le *Rothenbach*, 1319 mètres, et par le *Col du Bramont*.

Elle commence à *Wildenstein*, 549 mètres, situé au pied de ce col, et vient déboucher à *Thann*, 342 mètres, dans la plaine de l'*Ochsenfeld*, plaine qui fait elle-même partie du grand bassin du Rhin.

Sa longueur est de 23 kilomètres et sa largeur moyenne de 1 kilomètre, sauf sur quelques points où le pied des montagnes avance dans la vallée comme une décoration de théâtre, et donne lieu à des étranglements qui en rapprochent les bords à la distance de quelques centaines de mètres.

Son niveau au-dessus de la mer est :

A Thann, à la croisière de la route d'Aspach .	342	mètres.
A Willer, entre Willer et Bitschwiller. . . .	377	»
A Moosch, à la filature	400	»
A Saint-Amarin, à Hirscherbach	403	»
A Wesserling, au pont	424	»
A Felleringen, au pont Rouge	442	»
A Odern, au moulin	453	»
A Krüth.	509	»
A Wildenstein, entre le vieux château et Plaune.	549	»

[1] D. A. Les paragraphes E. C. (Edouard Collomb) sont extraits des *Preuves de l'existence d'anciens glaciers dans les vallées des Vosges. Du terrain erratique de cette contrée*, par **Edouard Collomb**, chimiste à Wesserling (Haut-Rhin), membre de la Société géologique de France et de la Société helvétique des sciences naturelles. Ouvrage accompagné de 12 figures dans le texte et de 4 planches coloriées, 1 vol. in-8°. Paris, Victor Masson; même maison, chez L. Michelsen, à Leipzig, 1847.

Ainsi sur une ligne de 23 kilomètres la pente est de 207 mètres soit 0m,009.

La différence de hauteur entre le sol de la vallée et le somm des montagnes encaissantes est d'environ 1000 mètres.

La direction générale de la vallée est nord-est à sud-est. Elle e tout entière livrée à la culture ; la vigne et le châtaignier prospèrer à Thann, plus haut ces cultures sont remplacées par des céréales e des prairies, au fond par des pâturages et des champs de pomme de terre. La température moyenne de l'année (déduite d'observation faites à la filature de Wesserling de 1831 à 1845) est de 9 degré centigrades.

Le cours d'eau principal de cette vallée est la *Thur*, qui pren sa source sur les flancs du *Rothenbach*, alimente de nombreuse et très-importantes usines, et va se jeter dans l'*Ill* près de Colmar

Moraine frontale de Wesserling.

E. C. 2. Quand on remonte cette vallée depuis la plaine d'Alsace la *première moraine* qui se présente à l'observateur (glaciariste) es celle de *Wesserling*, à 12 kilomètres en amont de *Thann*. Elle barr la vallée dans le sens transversal, elle est triple, forme trois ondula tions principales, elle a été coupée par les eaux de la rivière, et si fragments restent en place, trois sur la rive gauche et trois sur l rive droite. Ces fragments se correspondent exactement. Le poin culminant de cet amas est situé à 35 mètres au-dessus du niveau d la rivière. J'ai mesuré l'ensemble de ces matériaux, il y a encor 12,759,000 mètres cubes sur place; si l'on y ajoute ceux qui on été enlevés par les eaux et qui forment la coupure, le vide actu qui sépare les fragments, on arrive au chiffre de 18 millions d mètres cubes.

Les plus gros blocs répandus sur cette surface sont *anguleux* les moyens sont *arrondis*, et les menus débris sont presque tou *rayés* ou *striés*, quand ils proviennent de roche tendre de sédiment quand ils sont de granit ou d'autre roche cristalline dure, ils n sont pas rayés.

Dans les coupures pratiquées dans cette *moraine* pour extrair des matériaux de construction, on remarque une absence complèt de stratification, absence de triage selon le volume. Les sabl qu'on y recueille sur certains points, sont disposés en *amas*, e *sacs*, sans qu'il y ait de *couches* bien prononcées.

Le terrain étant en grande partie couvert de constructions, de fabriques, jardins et plantations, les *gros blocs* ont été successivement déblayés de la surface; il en reste cependant un certain nombre sur le dernier pli en aval, et d'un assez fort calibre. Un de ces *blocs* entre autres est remarquable par sa position sur le revers méridional de la *moraine*, il sert de pierre-borne, de limite entre la commune de *Ranspach* et celle de *Hüsseren;* il a 15 mètres cubes. Ce bloc est posé légèrement sur une de ses faces; sa forme est polyédrique et ses arêtes ne sont que *médiocrement usées;* un faible effort suffirait pour le faire changer de place et le précipiter au bas du talus.

Cette *moraine* possède encore une propriété caractéristique qu'on ne rencontre pas sur tous les *dépôts glaciaires : elle est remplie dans son intérieur de vides qui forment voûte, de petites cavernes, d'interstices qui séparent les blocs entre eux; comme si ces pierres fussent tombées une à une d'une certaine hauteur les unes sur les autres; il y a de ces vides où l'on peut enfoncer un bâton à plusieurs décimètres de profondeur sans toucher les cailloux*[1]. Vides qui forment voûte dans l'intérieur des moraines.

On voit de ces espaces creux dans les talus d'éboulement qui sont au pied des montagnes; mais il est assez extraordinaire d'en rencontrer dans l'intérieur d'un amas de matériaux mobiles, isolés, séparés des montagnes voisines par un petit vallon, enfin dans une position telle qu'il est impossible d'admettre que cette accumulation de pierres et de sable soit tombée là des flancs latéraux de la montagne. Dans les terrains qui ont été remaniés par les eaux, *on ne trouve pas non plus de ces vides*. On n'en a rencontré jusqu'à présent dans cette position que dans les débris transportés par les glaciers.

Les matériaux qui forment cette *moraine* sont bien conformes à la description que les auteurs font de cette espèce de terrain; on y trouve un répertoire complet de toutes les roches qui font partie du bassin supérieur de la vallée.

E. C. 3. Si de *Wesserling* nous remontons la vallée, nous rencontrons une quantité d'*accidents erratiques*, tels que *roches polies*, *roches striées*, *galets rayés*, *moraines par obstacle*, *accumulation de* Moraine de Krüth.

[1] D. A. Observation importante.

débris, dans les conditions les plus favorables à l'hypothèse de glacier. — A cinq kilomètres en amont de *Wesserling*, nous trouvons une seconde moraine frontale. Elle est située au village de *Krüth*, elle est triple comme la précédente ; son premier pli en amont a la forme d'un *arc de cercle*, dont les deux extrémités s'appuient sur les flancs de la montagne ; une large échancrure, produite par le mouvement des eaux, forme le lit actuel de la rivière; le second pli, parallèle au premier, n'en est distant que d'une centaine de mètres ; puis le trosième mouvement du terrain s'écarte de la parallèle et se prolonge au sud jusqu'en face de la petite vallée latérale de *Saint-Nicolas ;* il se termine par une longue traînée de *cailloux roulés* et de *blocs erratiques, qui forment arête au milieu de la vallée dans le sens de sa longueur*.

Cette traînée, d'après les matériaux qui la composent, pourrait avoir été produite par les *moraines latérales* du petit glacier qui descendait de la vallée de *Saint-Nicolas*, *glacier* qui débouchait à angle droit dans la vallée principale. On peut aussi attribuer sa formation au moment où la *moraine supérieure* de *Krüth* a été démantelée par la fusion des glaces. Ces deux hypothèses ne sont contraires ni l'une ni l'autre à l'existence des *anciennes glaces*.

La moraine de *Krüth* n'est pas aussi considérable que celle de *Wesserling :* son point culminant n'a guère au delà de dix à douze mètres d'élévation au-dessus de la rivière , mais elle forme un *barrage naturel* tout aussi bien dessiné, barrage perpendiculaire à l'axe principal de la vallée. Cette disposition transversale, comme si on eût voulu établir sur ce point une défense militaire, lui donne un caractère frontal irrécusable.

Les matériaux qui la composent sont en grande partie *granitiques* et *porphyriques*, les *blocs* et *galets* de *grauwacke* y sont rares ; aussi y trouve-t-on fort peu de *galets rayés*.

Entre la première *moraine* en amont de la rivière, il y a une belle carrière de sable, exploitée principalement pour la verrerie de *Wildenstein ;* ce sable n'est autre que du *granit broyé*, la couche a 3 mètres d'épaisseur ; il est si fin et si bien tassé, qu'il se coupe au couteau en tranches minces ; il repose sur d'énormes *blocs de granit*, il est recouvert de *gravier roulé* et d'une chétive couche de terre végétale ; il est grossièrement stratifié en lignes horizontales. Il n'est

peut-être pas inutile d'insister sur la place qu'occupe ce sable, entre une couche de *gros blocs* et une couche de *gravier*. Il y a des *blocs* de 6 à 8 mètres cubes.

Nos *terrains de moraines* ne sont pas stériles, tant s'en faut ; si les cultures annuelles y sont chétives et n'y réussissent qu'à force de soins, les arbres y prospèrent à merveille, leurs racines peuvent pénétrer avec facilité dans la profondeur de ces amas. C'est en général sur notre terrain erratique que l'on remarque les plus beaux chênes et les plus beaux charmes. Les tilleuls et les marronniers de la *moraine de Wesserling*, plantés en 1760, sont remarquables par leur vigueur et leur belle venue. Les terrains erratiques ne sont pas stériles.

E. C. 4. Nous appelons *moraines par obstacle* des matériaux adossés entre des roches en place. Cette forme du terrain erratique, que je ne trouve décrite nulle part, mérite une attention particulière. Dans la vallée de Saint-Amarin les moraines par obstacle sont au nombre de sept ou huit ; tous les monticules isolés, coniques, de roches en place de 30, 40, 50 à 180 mètres d'élévation qui surgissent du sol, comme des îles, en amont de Wesserling, en sont pourvus. Moraines par obstacle.

Bærenberg (Bærenbühl)[1]. Monticule entre le village d'*Odern* et celui de *Krüth*. La roche est un *schiste argileux ancien, cambrien* ou *silurien*, stratifié en couches relevées presque verticalement, qui alternent avec des masses fondues porphyroïdes. Bærenberg.

Sur le côté nord, *côté choqué* (*Stossseite*)[2], ce monticule est couvert jusque près du sommet d'un revêtement de *détritus mobiles*, dont la composition est identique à celle des autres *moraines* de notre vallée. Les accumulations de sable fin sont de préférence disposées par *bandes* dans la région inférieure de ce mont, puis les matériaux d'un plus fort volume sont plus abondants dans la région moyenne, ensuite les blocs métriques sont dans la région basse, empâtés dans le sable et la terre. A 50 mètres plus haut ces *mêmes blocs* *Stossseite*, côté choqué.

[1] D. A. Bærenberg, montagne de l'Ours; au lieu de Berg, montagne, les habitants de cette vallée désignent par *Bühl* les collines isolées qui, dans les Alpes bernoises, portent le nom de *Nolle* (Knolle), par exemple Grimsel-Nolle etc.

[2] D. A. Les glaciaristes appellent *Stossseite*, côté choqué, la partie de roche qui fait face au glacier, côté en amont du monticule, et *Lehseite*, côté préservé, la partie en aval.

sont un peu mieux dégagés, puis près du sommet ils sont tout à fait *libres*, *découverts*, *dégagés de galets* et autres *menus débris;* ils reposent directement sur la roche en place.

Il faut distinguer parmi ces blocs et débris ceux qui ont été déplacés plus tard par la main de l'homme pour préparer le sol à la culture. La plupart de nos moraines étaient, il y a cinquante ans, couvertes de chênes, hêtres, sapins; le sol mobile de ces amas de débris se prête fort bien à la culture des arbres de haute futaie mais pour le besoin de la population on les a fait disparaître, et la plupart de nos *moraines* sont aujourd'hui transformées en champs cultivés.

Au *Bœrenbühl* les *blocs métriques* sont en grande partie *arrondis émoussés,* ceux qui ont conservé des *angles vifs* sont plus rares, les uns et les autres sont en *granit* ou en beau *granit porphyroïde*, quelques blocs de *quartz blanc saccharoïde* et de *silex cornaline* s'y remarquent aussi. La roche *schisteuse* ne se trouve que dans les menus débris. Il est facile de remonter à l'origine de tous ces matériaux.

La roche *cristalline*, le *granit* et le *granit porphyroïde* identique se trouvent en place à 6 kilomètres en amont, auprès du col du *Bramont*, à la montagne de la *Tête-Ronde*, qui ferme la vallée dans cette direction, et dans les environs de *Wildenstein*, sur la rive droite. Les *quartz* et *silex* font partie de ce même massif, où ils figurent en qualité de *roche de filon*.

La roche de sédiment similaire est en place sur toute la rive gauche de la vallée en amont.

Comme étude de roches et de *galets rayés*, le *Bœrenbühl* n'est pas dépourvu d'intérêt. Les *galets rayés* y sont abondants; j'en ai recueilli de fort beaux exemplaires dans une ouverture pratiquée dans cette *moraine* du côté nord-est pour l'extraction du sable. Les galets recueillis ainsi au milieu d'une tranche de sable en exploitation, ont des *stries d'une netteté parfaite;* ceux que j'ai trouvés *sous les glaciers*, ou bien enchâssés dans les masses mêmes de glace, ne sont pas mieux *burinés*.

En comparant des *galets rayés* que j'ai rapportés des *glaciers en activité* avec ceux que je recueille sur les *moraines des Vosges*, il est impossible d'apercevoir aucune différence, quand bien même

la roche n'est pas de même nature. Les *calcaires noirs* compactes des Alpes ont beaucoup d'analogie sous le rapport de l'aspect extérieur et de la dureté du grain avec nos *schistes anciens;* le *burin erratique y a tracé les mêmes hiéroglyphes.*

Côté préservé, *Lehseite.*

J'ai trouvé la roche *striée* en place sur quatre points différents du *Bærenbühl.*

Sur le versant sud, *côté préservé* (*Lehseite*), tous les *accidents erratiques* disparaissent, pour faire place à différents talus d'ébranlements, qui ont sans doute été produits par la forte pente et la nature de la roche de ce monticule; ces talus n'ont aucun rapport avec ceux de la face opposée.

Les autres *moraines par obstacle* les mieux caractérisées de notre vallée sont situées à peu de distance du Bærenbühl. A 4 kilomètres en amont, le rocher qui porte les ruines de l'ancien château féodal de *Wildenstein* est revêtu sur son revers nord-ouest d'un manteau de débris, en tout point identique à ceux que nous venons d'explorer. Ce rocher, de 180 mètres de haut, est séparé des montagnes voisines par deux couloirs; dans l'un passe la route et dans l'autre la rivière. Il est presque tout entier formé d'une masse de *granit porphyroïde;* on n'y trouve nulle part de *stries* délicates, mais seulement des parois de roc plus ou moins bien *polies* et *arrondies* (moutonnées).

En aval du Bærenbühl, à la distance de quelques centaines de mètres, nous trouvons encore une *moraine par obstacle* tout aussi bien prononcée. C'est le rocher au sommet duquel est bâtie l'église d'*Oderen*. Du côté d'aval ce rocher est très-escarpé, presque vertical, complétement dénudé; il a conservé toutes ses aspérités naturelles. Du côté opposé il est plaqué d'un revêtement de *détritus erratiques* considérables, composés de blocs, de sable et de galets.

Le cimetière du village, avec quelques plantations d'arbres, est établi sur ces amas; on peut juger de sa composition lorsque ce terrain est remué pour creuser les tombes.

Cette *moraine* se distingue des précédentes par l'existence d'amas de terre rougeâtre argileuse, qui fait partie intégrante de sa masse, amas où les *blocs* sont venus s'*empâter* à différentes profondeurs. Sur les points où la rivière a entamé cette *moraine*, ces *blocs sont suspendus* à une certaine hauteur et ne tiennent à la masse que par

la force agglutinative de cette terre. Le plan de ce mont a la forme d'un ellipse ; vers l'un des sommets de la courbe le roc n'est pas *strié*, mais il est *usé*, *frotté* et *arrondi*.

Le Marlen.

En descendant notre vallée nous trouvons encore un monticule isolé qui s'appelle le *Marlen*, entre le village d'*Oderen* et celui de *Felleringen*. Ce Marlen est dans les mêmes conditions que le *Bœrenbühl*. Son revers nord est couvert de *débris erratiques*, de *galets rayés*, *terre argileuse*, *blocs métriques* de *granit* et de *granit porphyroïde*. Ces blocs sont au sommet de ce mont, posés légèrement, supportés par des corniches de roche en place, ou engagés sur des pentes de 30 à 40 degrés ; le moindre effort suffirait pour les déranger d'une position aussi peu stable.

Le Hasenbühl.

Et se rapprochant de *Wesserling*, après avoir dépassé le village de *Felleringen*, on rencontre sur la rive gauche un petit *ballon* de 70 mètres d'élévation au-dessus de la rivière ; il se détache de la montagne voisine, dont il n'est séparé que par un petit vallon pierreux. Cette protubérance s'appelle le *Hasenbühl ;* elle est non-seulement remarquable par la présence des *débris* qui sont tassés sur un des côtés, mais encore par les *belles stries* dont toute la calotte supérieure de ce rocher est couverte.

Ces *stries* ne sont pas longues ni rectilignes ; elles rentrent dans la catégorie de celles que nous avons désignées sous le nom de *régime saccadé*. Elles sont *fines* et fort *nettes*, et la couche a conservé *son poli* sur les points où les agents extérieurs n'ont pas pu exercer leur action à cause de la couche épaisse de mousse qui la couvre. Sur les points découverts, où ces mêmes agents ont pu exercer leur action depuis des siècles, le *poli brillant* a disparu pour faire place à un grain mat, mais les *stries* sont restées intactes, elles ne sont point entamées. Les *galets rayés* sont abondants parmi les débris de cailloux du revers nord-ouest.

Des blocs *erratiques* de *granit blanc* sont dispersés sur le sommet de ce petit ballon. Il n'est pas tout entier de roches schisteuses de sédiment ; il est en partie formé de roche cristalline d'*eurite non stratifiée*. Cette roche, dure comme du *silex*, est bien susceptible de se *polir*, mais elle n'est pas de nature à recevoir des *empreintes fines, burinées*.

Les *stries* sur la *roche schisteuse* sont dans la direction de l'axe principal de la vallée.

Au pied du *Hasenbühl*, du côté du village, on trouve dans un petit chemin creux, de *gros blocs* de *granit* qui ont été employés pour faire un mur sec ; ces blocs ont été extraits d'un champ voisin ; leur volume primitif étant de plus d'un mètre cube, on les a cassés en plusieurs fragments ; il se remarque sur ces fragments un grand nombre de *stries*, de *cannelures* de plusieurs millimètres de profondeur, qui ne sont pas précisément *parallèles*, mais qui divergent en *rayonnant d'un centre commun*. Ces *blocs cannelés* se trouvent encore sur différents points de la vallée. En jetant un coup d'œil sur la coupe longitudinale de la vallée de *Saint-Amarin*, on peut voir d'un seul coup toutes les *moraines par obstacle* qui tapissent les rochers du fond de cette vallée. Elles sont remarquablement bien disposées pour satisfaire à toutes les exigences de l'hypothèse des *anciens glaciers*.

E. C. 5. **Roches striées.** Outre les *roches striées en place* que nous venons de voir au *Hasenbühl* et au *Bœrenbühl*, la vallée de *Saint-Amarin* en renferme encore beaucoup d'autres, fort remarquables par leur belle conservation et leurs larges surfaces encore intactes. Nous citerons celles qui sont d'un abord facile. Glattstein.

A 500 mètres en amont de la *moraine de Wesserling*, sur la rive droite, à quelques mètres de la prise d'eau de l'établissement, au lieu dit le *Glattstein* (*Pierre lisse*), le pied de la montagne, baigné par la rivière, avance dans la vallée et forme promontoire. Un petit chemin vicinal qui passe du village de *Hüsseren* à celui d'*Urbès*, contourne horizontalement cette montagne. C'est sur la berge entre ce chemin et la rivière, sur un maigre terrain communal, que la roche *striée en place* perce sur certains points et sur une étendue de 12 à 15 mètres, particulièrement au bord de l'eau. La pente générale est un plan fortement incliné, mais le terrain est très-accidenté ; cette roche forme une suite de mamelons arrondis et moutonnés.

C'est une *roche sédimentaire de schiste argileux*, gris-bleu, compacte, à grain très-fin, dont les strates largement dessinées dans la direction est-ouest, plongeant nord, alternent avec d'autres couches d'un *grauwacke* à grain plus grossier en stratification concor-

dante. Ces *schistes* appartiennent aux terrains les plus anciens de l'écorce du globe ; ils sont cambriens ou siluriens ; jusqu'à présent on n'y a pas découvert de fossiles.

Le *Glattstein* offre un des plus beaux types de *roches striées ;* la finesse de la pâte a permis au *burin* d'y imprimer les *traits les plus délicats*. Les *stries* ne sont pas rigoureusement horizontales, ni rectilignes : elles décrivent une courbe à grand rayon ; elles montent lorsque le mouvement de la roche monte, elles descendent lorsque celui-ci descend ; elles en suivent toutes les sinuosités sur le côté amont. En aval, lorsque la roche présente quelque brusque anfractuosité, quelque creux, les stries disparaissent[1].

Leur direction n'a aucun rapport avec le sens du clivage. Vu à distance, ce roc représente une suite de petits mamelons *usés*, *polis*. On peut y distinguer les *quatre régions de stries*.

1° *Des stries rectilignes ;* 2° *des stries saccadées ;* 3° *des stries cannelées ;* 4° *des stries croisées*.

Les stries rectilignes sont peu profondes ; elles ne sont pas toujours rectilignes, et s'éloignent quelquefois de la ligne droite pour décrire une courbe à rayon plus ou moins grand. *Les stries saccadées* sont des sillons creusés dans la pierre avec un burin fort tranchant, comme si l'on eût appliqué un instrument, un ciseau pointu, par exemple, sur le roc, en l'inclinant de 25 à 30 centimètres, et qu'on eût frappé sur le manche du ciseau avec un maillet.

Stries rectilignes.

Les stries cannelées ne s'aperçoivent point sur un échantillon de 8 à 10 centimètres carrés ; il faut se placer à quelques pas de distance pour les bien juger. Ce sont des *sillons rectilignes, larges, faiblement creusés, parallèles* et ne se *coupant pas entre eux*. Si, par suite de l'action désagrégeante des agents extérieurs ou par toute autre cause, les *stries rectilignes* qui sillonnent l'intérieur de ces *larges cannelures* ont disparu en tout ou en partie, les *cannelures restent* et s'aperçoivent très-bien à distance.

Les petites veines de *quartz*, qui se ramifient dans ce *schiste*, et une grosse veine de *roche de filon* de 4 centimètres d'épaisseur sur

[1] D. A. Des observations nombreuses dans les glaciers en activité nous disent que le glacier, quoique plastique, ne remplit pas exactement par contact immédiat toutes les sinuosités des roches qui l'encaissent. Là où la glace touche la roche, les matériaux qui y sont empâtés raient et polissent, et les parties de roche en creux qui ne sont pas en contact avec ce rabot sont préservées.

3 à 4 mètres de longueur, sont *usées et coupées net au même niveau que les autres parties de la roche.* Elle est en partie couverte de bruyères, de mousses, de genêts; la terre qui la recouvre n'est point de la terre végétale ou des schistes décomposés. En ayant fait découvrir une portion pour juger de son état de conservation et pour en extraire des échantillons, j'ai reconnu dans les matériaux remués à cette occasion tous les éléments qui constituent le *terrain erratique:* on y trouve du *sable*, des *galets nettement rayés*, de *petits blocs arrondis* de *granit à angles vifs;* le tout de même nature que ceux que l'on trouve dans l'intérieur de nos *moraines.*

Le *poli de la roche* est beaucoup mieux conservé dans les endroits couverts de débris que dans ceux qui sont exposés à l'action des agents atmosphériques; ceux récemment mis à nu sont irréprochables sous le rapport de la pureté des traits de burin qui la sillonnent.

Une autre remarque à faire sur ces places nouvellement déblayées, c'est la présence sur la roche d'une *incrustation de sable fin*, qui y adhère assez solidement. Ce sable agglutiné forme de petits amas qui résistent au lavage à l'eau froide; il est si bien incrusté qu'on ne peut l'enlever qu'en laissant tremper un échantillon chargé d'incrustation, pendant quelques heures, dans de l'eau chaude et en le frottant ensuite avec une brosse. Ce sable est un mélange de *poudre excessivement fine* avec des *fragments de quartz*, de 1 à 2 millimètres de diamètre.

Dans les *terrains calcaires* on voit souvent de ces incrustations de sable sur les roches, mais au *Glattstein* ces matières ne font pas effervescence avec les acides; les eaux calcaires sont d'ailleurs tout à fait étrangères à la localité; on n'en trouve nulle part dans notre vallée.

Ces incrustations ne sont autre chose que ce que les glaciaristes appellent la *boue du glacier; c'est elle et les corps durs qui sont engagés dans la glace même qui font l'office du burin;* on peut s'en convaincre en examinant avec attention une *strie* prise isolément et couverte d'incrustations, *c'est si bien ce sable qui a buriné la roche, qu'on retrouve le grain de quartz encore emprisonné dans son sillon. Si on lui imprimait de nouveau un mouvement locomotif en avant, avec pression, il continuerait à labourer la roche comme il l'a fait dans les temps passés.* Boue de glacier.

Quant à la limite supérieure, où les *stries* et le *poli* du *Glattstein* s'arrêtent, elle est difficile à déterminer exactement; à 10, 15, 20 mètres plus haut, sur le penchant de la montagne, on rencontre encore des vestiges de *polis* et des rudiments de *stries;* les *débris erratiques* se prolongent même beaucoup plus haut; mais les défrichements, la culture et l'action incessante des agents extérieurs ont détruit en grande partie l'*œuvre erratique* des anciens temps.

Stries croisées.

Stries croisées. Après le *Glattstein,* le *Bärenbühl* et le *Hasenbühl*, les autres roches striées en place de la vallée de *Saint-Amarin* présentent encore quelque intérêt, et nous ne pouvons pas oublier de faire mention des *roches striées* qui se trouvent sur le revers sud-est du *Hüsselberg,* montagne qui domine le *Glattstein* et dont le sommet n'a pas au delà de 752 mètres d'altitude : ces rochers percent de loin le flanc rapide de la montagne; elles sont schisteuses et les *stries* que j'y ai remarquées se coupent entre elles, non pas sous un angle aigu, mais sous un angle de 90 degrés. Dans le sens horizontal, les *stries sont fines* et *saccadées* comme celles du *Hasenbühl;* puis dans le sens vertical, elles sont plus fortement accusées, plus longues, formant un *sillon mieux cannelé.*

Ces roches sont assez difficiles à déterrer, parce que ce flanc de montagne, malgré sa pente, est couvert de terrains cultivés, et en même temps ce *schiste-grauwacke,* qui seul est susceptible de se laisser *buriner finement,* est traversé à chaque instant par des masses de *granit porphyroïde,* fort cassant, et sur lequel les *agents erratiques* n'ont pu exercer une action d'*usure* et de *politure permanente.* J'ai réussi cependant à en recueillir quelques exemplaires dont les *stries* se coupent à peu près à angle droit.

Ce point n'est pas le seul où j'aie trouvé de ces roches avec des *stries croisées;* il y en a encore sur la pente abrupte de la montagne qui domine le village de *Felleringen* sur la rive gauche; elles sont identiques quant à leur *burinage* à celles du *Hüsselberg;* elles se coupent sous un angle qui n'est pas éloigné de 90 degrés. Cette roche est friable; elle se casse en petits fragments rhomboïdaux; il n'est guère possible d'en extraire des échantillons satisfaisants[1].

[1] D. A. Ce croisement de stries, je l'ai vu fréquemment sur les surfaces de roches en place dans les Alpes, dans les Vosges, dans les Pyrénées, dans le Sierra-Nevada (en Espagne). Le *croisement de ces stries*, même à angle droit, est tout naturel; nous en

La vallée de Saint-Amarin, comme le tronc d'un arbre, possède ses branches latérales et ses rameaux; nous allons pénétrer dans quelques-uns des vallons latéraux, pour y suivre les traces que le phénomène erratique y a laissées écrites de son passage.

Vallée d'Urbès.

E. C. 6. **Vallée latérale d'Urbès.** Cette vallée dont le bassin est nettement dessiné, dans la direction nord-est, sud-ouest, a 5 kilomètres de longueur sur 500 mètres dans les endroits les plus larges. Le sol est peu incliné, presque horizontal; — il n'est élevé que de 10 mètres au-dessus de la vallée de Saint-Amarin; il se compose d'un fond de tourbe marécageux, qui porte encore le nom de lac d'Urbès; les travaux de dessèchement lui ont fait perdre sa qualité de lac, qu'il ne reprend que temporairement, aux époques des grandes eaux. La vallée est encaissée de toute part de montagnes à fortes pentes, en partie couverte de forêts, sauf sur la rive droite du côté de *Storckensohn*, où le relief du sol, venant à s'abaisser jusque près du niveau de la vallée, donne lieu à l'ouverture d'un vallon latéral.

En interrogeant ces pentes sur tout le pourtour de la vallée, on y reconnaît de suite les différents signes qui caractérisent le *passage d'un glacier*. En aval, elle se termine par une énorme *moraine frontale, multiple*. C'est un encombrement considérable de détritus qui en occupent toute la largeur, et qui forment une série de *petites ondulations* disposées par *bandes* perpendiculaires à l'axe de la vallée

lisons la démonstration dans les *glaciers en activité*, dans le bassin des glaciers de l'Aar. Les glaciers monstres ont poli et rayé les roches qui les encaissent dans le sens de leur axe. Au bas du Pavillon, nous voyons des stries sur les parois de roche, à quelques mètres au-dessus de la surface du glacier; ces stries sont parfaitement conservées; quelques années plus tard, la surface du glacier, par son accroissement, se trouve à quelques mètres plus élevé; ces stries sont couvertes, mais par l'ablation (fonte) de cette même surface pendant l'été, cette portion de roche est de nouveau mise à découvert, et nous voyons des stries nouvelles qui se coupent à angle plus ou moins ouvert avec les anciennes; c'est le glacier qui les a faites, c'est la boue de glacier fraîche qui les a produites. Nous voyons le même phénomène plus en amont sur le Finsteraar, et nous trouvons de plus un petit glacier latéral qui n'a pas assez de puissance de développement pour atteindre le grand glacier : un espace de 30 mètres l'en sépare. La roche, à la pente terminale de ce petit glacier dont une partie extrême s'est fendue, nous présente des stries anciennes dans le sens de l'axe du grand glacier, et des stries nouvelles fraîches qui les coupent à angle droit et que la boue du petit glacier a faites il y a peu de temps.

et dont le point culminant se trouve au centre. Ces bandes so
arquées, les pointes touchant la montagne, et la partie convexe vie
se perdre en aval en formant une berge rapide, parallèle à la dire
tion générale de la *vallée de Saint-Amarin*.

Une échancrure assez profonde coupe cette moraine pour donne
passage aux eaux et à la route. L'ensemble de cet amas a 600 mètre
de longueur sur 500 mètres de large, hauteur moyenne 10 mètres
ce qui fait une masse de matériaux de 3 millions de mètres cubes

Il n'y manque rien de ce qui constitue ordinairement les *moraines*
sauf de gros *blocs métriques*. Cette absence de blocs d'une dimen-
sion un peu forte n'est pas un argument sérieux contre la *natur*
erratique de cet amas; elle peut s'expliquer facilement : la roch
qui l'encaisse est dans toute cette petite vallée d'une nature friable,
elle se délite facilement, elle se divise en cailloux qui n'atteignen
pas un fort volume; le *glacier*, en formant sa *moraine*, n'a pu
prendre d'autres matériaux que ceux qu'il avait sous la main, i
n'y a pas de *gros blocs* sur cette montagne, parce que cette montagn
n'en fournit pas.

Cette vallée est remarquable par les *longues traînées* de *débris er*
ratiques qui suivent les flancs de la montagne, sur les deux rives,
en décrivant des lignes à peu près horizontales, à 300 mètres d
hauteur au-dessus du sol de la vallée.

Vallée de Mollau. E. C. 7. **Vallée de Mollau**. Cette vallée est un des nombreux
embranchements qui viennent aboutir dans la vallée principale d
Saint-Amarin. Ce vallon, de 3 1/2 kilomètres de longueur, possèd
deux moraines frontales placées transversalement en échelons à 200
mètres de distance l'une de l'autre. La première est posée comm
un rempart au milieu du village de *Hüsseren;* elle a 15 mètres d
haut, sa forme n'est ni *arquée* ni *bombée;* elle suit une *ligne droit*
horizontale, qui court d'un bord à l'autre de la vallée. — Les eau
ne sont pas venues la déranger ou l'entamer sur aucun point, l
ruisseau passe dans un autre embranchement de la vallée. Son re
vêtement en gazon lui donne tout l'aspect d'un travail de défens
militaire, d'un énorme rempart. La pente du talus est très-abrupte
elle s'éloigne peu de 45 degrés. En amont, cette pente s'adouc
beaucoup et forme plusieurs étages, qui finissent par se confondr
avec le sol.

La *seconde moraine*, qui barre la vallée de *Mollau*, commence aux dernières maisons du village de ce nom; celle qu'on appelle la maison du garde, repose presque jusqu'au sommet. — Un des côtés du solide est entamé; il est coupé net sous un angle qui approche aussi de 45 degrés, et forme une berge d'une quarantaine de mètres de hauteur qui descend jusqu'au lit du torrent. Il n'y a pas d'apparence de *stratification*. Les *gros blocs* sont *empâtés* sur la surface de cette tranche à toutes les hauteurs et dans toutes les positions, ils sont entremêlés de cailloux et de sable. Par l'enlèvement d'un peu de sable, d'un petit caillou faisant coin, ils peuvent se détacher et rouler jusqu'au fond. — Les matériaux menus ressemblent parfois, à s'y méprendre, à un tas de décombres, à un amas de remblais, qu'on aurait transporté là à la brouette. D'autres *blocs métriques* sont semés au hasard sur les pentes et le sommet légèrement aplati de cette *moraine*. Immédiatement en amont de la *moraine de Mollau*, on remarque que la configuration du terrain est disposée en forme de grandes *marches d'escaliers*, *de terrasses parallèles*, qui suivent les mouvements du pied de la montagne, comme les *gradins d'un grand cirque*, jusqu'à la hauteur de 50 à 60 mètres, ainsi que nous l'avons vu en amont de la *moraine de Hüsseren*.

Vallée de Storckensohn.

E. C. 8. **Vallée de Storckensohn**. Quand on passe de la vallée de *Mollau* dans celle de *Storckensohn*, on rencontre une quantité de *débris erratiques* dispersés sur le sol; puis à l'entrée de cette dernière vallée on trouve des amas de *matériaux mobiles* déposés à droite et à gauche du ruisseau. On y trouve des *galets rayés* à une certaine hauteur au-dessus du ruisseau. Outre les différentes espèces de *granit*, fort communes dans toutes nos vallées, on y trouve encore de fort beaux blocs de *siénite* à larges cristaux de *feldspath* rosé. On chercherait vainement dans les roches en place de ce bassin et dans tout le bassin de la vallée de *Saint-Amarin*, des siénites analogues; on n'en trouverait nulle part. Pour arriver à l'origine de cette roche, il faut passer le col du *Sternensee* et suivre les crêtes de la montagne du *Gazon-Rouge* du côté du *Ballon d'Alsace*[1]: là seulement on rencontre des *siénites* en place exactement pareilles. Qu'il

[1] D. A. Ballon qui domine Massevaux et Giromagny. Ne pas confondre avec le ballon de Guebwiller.

nous soit permis de faire remarquer, en passant, que le transpo de ces blocs présente en théorie une difficulté insurmontable, si cherche à l'expliquer par le moyen des courants.

Vallée de Schliffels. E. C. 9. **Vallée de Schliffels.** Ce petit vallon n'a pas 3 kil mètres d'étendue. Il verse le tribut de ses eaux dans la vallée *Saint-Amarin;* ces eaux ne sont du reste qu'un petit ruisseau, dor le lit est à sec pendant plusieurs mois de l'année. Son sol est forte ment accidenté. A sa partie inférieure, au point où il se réunit à l vallée de Saint-Amarin, son altitude est de 450 mètres, et à 3 kilo mètres plus haut, le fond de ce vallon est à 725 mètres. La pent moyenne est donc sur 3000 mètres = 0,09. Ce petit bassin a la form d'un fer à cheval, son pourtour est formé par le relief du *Drumont* Malgré l'exiguité du terrain, le *terrain erratique* y a laissé de traces considérables de son passage; ces *traces* sont une *moraine* e des *accumulations* de *blocs*, sur une grande échelle relativement l'étendue du terrain.

Cette moraine a environ 50 mètres de hauteur sur 5 à 600 mètre de longueur, mais elle ne forme pas un barrage transversal comm celles que nous avons déjà explorées; l'étranglement de la vallé n'a pas permis aux matériaux de s'y tasser sous cette forme. Le débris se sont donc accumulés à gauche et à droite du couloir, e la partie frontale a été entraînée par les eaux. Des portions considé rables de matériaux sont restées adossées contre la montagne; ils sont suspendus légèrement, au-dessus du niveau des plus grande eaux; les eaux ont rongé, détérioré avec la plus grande facilité tou les détritus qu'elles ont pu atteindre jusqu'à une certaine limite elles n'ont respecté que les plus gros blocs trop lourds pour êtr entraînés; le cours de l'eau en est encombré.

Vallée de Mitzach. La surface de cette *moraine* sur la rive gauche est aussi *parsemé* d'une prodigieuse quantité de *blocs;* la terre qui les supporte es une mauvaise terre rebelle à la culture, nul arbre n'y prospère quelques pauvres champs sont les seuls résultats que les défricheur aient pu obtenir de ce sol ingrat.

On y trouve quelques amas de *terre argileuse* chargée d'oxyde d fer, qui lui donne l'aspect de l'ocre. Ces éléments ferrugineux o dû être arrachés dans les temps erratiques du pied du *Drumont*, c il existe plusieurs filons assez riches de *fer oxydé*, noir, mamelonn

— J'ai mesuré plusieurs blocs à la surface de cette *moraine:* ils ont 12 à 15 mètres cubes; les plus gros ont conservé toute la fraîcheur de leurs *angles*. Quelques-uns sont suspendus sur la pente de la berge, inclinée de près de 40 degrés sur certains points. Nous avons déjà eu l'occasion d'observer dans les Vosges que les *blocs de gros calibre* sont presque tous à *angles vifs* et de préférence logés sur des points culminants; les blocs moyens sont généralement *arrondis* et *usés*.

Vallée. de Saint-Nicolas.

E. C. 10. **Vallée de Saint-Nicolas**. Pour passer de la vallée de *Schliffels* dans celle de *Saint-Nicolas* qui lui est parallèle, on quitte la *moraine* que nous venons de voir, puis à droite en montant, on gravit une pente abrupte, se terminant par un col; tout ce terrain est couvert d'une grande quantité de *blocs*.

Vallée de Mitzach.

E. C. 11. **Vallée de Mitzach**. Cette vallée s'ouvre dans la grande vallée au-dessous de la *moraine de Wesserling;* elle a été occupée par un petit *glacier;* ses traces y sont encore sur les lieux.

Ce petit bassin est *jonché de blocs* de *granit*, depuis sa partie inférieure jusqu'au fond; il n'a du reste qu'une étendue de 2 1/2 kilomètres.

Ces *blocs*, dont beaucoup atteignent plusieurs mètres cubes, la plupart *arrondis*, et fort peu à *angles vifs*, sont en grande majorité en beau *granit blanc*, quelques-uns de *granit porphyroïde*, puis encore de cette belle *roche serpentineuse verte* qu'on trouve dans la vallée voisine de *Mollau*. Si la *moraine frontale* manque, les parties latérales de ce vallon sont couvertes jusqu'à la hauteur de 50 à 60 mètres de *débris horizontaux* bien caractérisés; les *galets rayés* y sont abondants.

D'où viennent donc ces blocs de granit qu'on aperçoit disséminés en abondance?

Ils viennent de régions plus élevées et ont été transportés par les glaciers.

Vallée de Guebwiller.

E. C. 12. **Vallée de Guebwiller**. Cette vallée a sa source sur le point le plus élevé des Vosges, le Ballon (*Ballon de Guebwiller*), 1457 mètres altitude; elle fait partie du versant est de la chaîne. Elle est arrosée par les eaux de la *Lauch*, dont une des sources principales descend directement du petit *Lac du Ballon*. Sa lon-

gueur, depuis les sources de la *Lauch* jusqu'à son ouverture dans la plaine du Rhin à *Guebwiller* est de 12 à 14 kilomètres.

En descendant cette vallée depuis le *Ballon*, on remarque qu'elle est enfermée dans des limites fort étroites jusqu'au village de *Lautenbach-Zell*, puis elle s'élargit un peu, les pieds des montagnes au village de *Bühl* se tiennent à une distance mutuelle de 500 mètres, puis à *Guebwiller* ils se rapprochent de nouveau avant de se fondre définitivement avec la plaine.

Son niveau au-dessus de la mer est :

A Guebwiller, entre Guebwiller et Soultz. . .	263	mètres.
A Bühl	338	»
A Lautenbach-Zell au débouché du Linthal . .	508	»

Les montagnes du fond de cette vallée sont dépourvues de *granit*. La *roche cristalline* ne commence à paraître au jour qu'aux environs du village de *Lautenbach*, elle continue à se montrer en aval jusqu'auprès de *Guebwiller*. La roche sédimentaire du fond est parfois en masses si compactes, si serrées, qu'on y reconnaît difficilement des traces de *stratification*. Quelques *blocs* fort rares, *blocs erratiques* d'un beau *granit porphyroïde*, se rencontrent cependant sur les bords du chemin qui communique au *Chalet du Lauch*.

Plusieurs petites *moraines* barrent cette vallée, une entre autres à 5 kilomètres en amont de *Lautenbach*, au confluent d'un ruisseau latéral de la rive droite. Cette *moraine* est modèle par sa forme, elle a une ressemblance frappante avec les petites moraines anciennes qu'on remarque à quelques centaines de mètres de distance du *glacier actuel du Rhône*. Les matériaux en sont menus : il n'y a que des *blocs de moyenne grandeur;* les uns *arrondis*, *d'autres à angles vifs*. Cette *moraine* est caractéristique, en ce que, dans une coupe transversale où l'on a puisé des matériaux pour la route, il se voit un grand nombre de *vides*, de *creux*, provenant de la manière dont ces pierres ont été superposées les unes aux autres pendant l'époque de leur dépôt. Nous avons déjà remarqué cet accident à la *moraine frontale* de *Wesserling*, et nous avons fait observer à cette occasion (E. C. 2) que l'*arrangement des matériaux morainiques avec des vides intérieurs* est un fait très-sérieux à l'appui de la théorie qui attribue leur formation à d'anciens glaciers.

En voyant de près ces petites cavités, on trouve qu'elles sont identiques à celles qui se forment de nos jours dans les moraines des glaciers en activité; on demeure également convaincu que *les eaux courantes ne sont point intervenues dans le mode de tassement de ces pierres.*

Je n'ai pas trouvé un seul *roc*, ni un seul *galet strié* dans cette vallée; ce fait négatif n'a rien d'extraordinaire. Le *galet* et le *roc* ne se couvrent de stries que lorsqu'un corps plus dur, doué de mouvement, vient à les entamer; dans le haut de la vallée de *Guebwiller*, sauf les *blocs de granit porphyroïde* excessivement rares dont nous avons parlé tout à l'heure, il n'y a pas de corps durs capables de *rayer* la roche en place, point de *roche cristalline*, point de filons de *quartz*, le *burin* manque dans cette localité. Les *schistes grauwackes*, quelque compactes qu'ils soient dans cette partie des Vosges, ne sont cependant pas assez durs pour se *rayer* eux-mêmes par frottement; ils s'*usent* mais ne se *burinent* pas. Il n'est donc pas étonnant qu'on n'y rencontre point ces *galets striés*, si abondants dans les vallées voisines, où toutes les conditions nécessaires à leur production se trouvaient réunies.

La présence de quelques *moraines transversales* et *frontales* peu développées à la vérité, mais placées dans les conditions les plus heureuses, suffit à nos yeux pour constater dans la vallée de *Guebwiller* l'existence d'un ancien glacier.

E. C. 13. **Vallée de Münster.** Sa direction générale est nord-est — sud-ouest. La *ville de Münster* est placée à peu près au milieu de cette vallée; elle s'allonge depuis la plaine jusqu'au pied du *Hoheneck* d'un côté, et du *Rothenbach* de l'autre, sur une ligne de 20 kilomètres. Vallée de Münster.

Son niveau au-dessus de la mer est:

A l'entrée de la vallée près Zimmerbach. .	272	mètres
A Münster, au pied du Schlosswald . . .	352	»
A Metzeral.	482	»

A partir de *Münster* en amont elle se divise en deux branches principales, désignées sous le nom de *grande et de petite vallée.* Cette dernière communique avec la Lorraine par une nouvelle route, construite à travers de grandes difficultés de terrain par le passage de la *Schlucht*, au col septentrional du *Hoheneck*.

La grande vallée se dirige au sud-ouest ; elle se subdivise en de rameaux : l'un remonte jusqu'au pied du *Rothenbach*, l'autre se rige plus au sud jusqu'au *Col de la Lauch*.

Metzeral. Le village de *Metzeral* est placé au point d'intersection de deux rameaux. C'est dans le village même que les accumulations *débris erratiques* commencent à se montrer sur une grande échell plus bas, du côté de *Münster*, on voit beaucoup de *blocs de gra* jetés à droite et à gauche sur les flancs des montagnes. Mais *Metzeral* les masses de *blocs* et de *galets* se sont tassés sous forme *monticule*.

Les *contours arrondis d'une moraine* subsistent encore, ma seulement par portions : les eaux de la *Flecht* d'un côté, et le rui seau venant du sud, de l'autre côté, l'ont dégradée et en partie d mantelée.

Toutefois son origine ne paraît pas devoir être sujette à contest tion ; les matérieaux qui composent cet amas sont formés en gran partie de *blocs de granit arrondis* et de *quelques blocs à angles vif* de plus j'y ai recueilli des *galets rayés ;* mais ils y sont rares : dépôt étant presque en entier formé de débris de roche *cristalli* et de fort peu de roche *sédimentaire*, ces *galets* ne peuvent pas être fort abondants.

Sondernach. A 2 kilomètres de *Sondernach*, on remontre une *seconde m raine* qui barre cette petite vallée, en s'élevant à environ 50 mètr au-dessus du niveau actuel des eaux. L'église du village est bât au point culminant de ces amas. Cette *moraine* est moins *granitiq* que celle de *Metzeral ;* elle est composée de beaucoup de *débris te reux*, de *galets* dont un grand nombre sont *striés*, de *blocs de roc sédimentaire*, de quelques blocs de *granit porphyroïde*, et de bea coup de *sable argileux*.

La différence de composition de ces deux *moraines*, dont l'une e *granitique* et l'autre *schisteuse*, provient de la nature du terrain q en a fourni les matérieux. La grande vallée, qui s'ouvre à *Metzer* est *granitique* sur toute sa rive gauche, et la vallée de *Sondernac* qui se courbe dans la direcion du sud, est presque tout entière formation *schisteuse*, sauf quelques trouées de *granit porphyroï* qui percent le sol de loin en loin.

Ces *deux moraines* ont un caractère *glaciaire* très-prononcé

Sondernach surtout; les différents plis et les mouvements du terrain dans un sens transversal excluent toute participation des eaux dans l'établissement de ces amas, et la présence des *galets rayés* est un argument de plus en faveur de la théorie qui admet l'existence dans les temps passés de *grandes glaces dans ces vallées*.

Vallée de Massevaux

E. C. 14. **Vallée de Massevaux.** Cette vallée, dont la direction est nord-ouest à sud-est, est à peu près parallèle à celle de *Saint-Amarin;* elle n'en est séparée que par une arête de montagnes qui commence au *Rossberg* et se prolonge jusqu'au *Gazon-Rouge*. Comme sa voisine, elle s'ouvre dans la grande plaine d'Alsace. La *Doller* qui l'arrose est alimentée au nord par les sources qui descendent de cette arête, à l'ouest par les ruisseaux qui se précipitent des pentes du *Ballon d'Alsace* et du *Bärenkopf*.

Son altitude est à[1]:

Massevaux	416 mètres
Kirchberg	440 »
Dolleren (entre Dolleren et Sewen) . . .	492 »
Lac de Sewen, en amont	507 »

Ce bassin est presque en entier de roche *cristalline*, *granit*, *porphyre*, *siénite*...; la roche *sédimentaire* y est rare. Sur la rive gauche on aperçoit bien quelques *roches schisteuses* bleues, mais par moment cette roche passe à un état d'agrégation si compacte, et sa stratification est si grossière qu'on pourrait peut-être la classer dans les roches *cristallines*[2]. La *roche de filon* y est riche en beaux échantillons de *quartz hyalin*.

Le fond de cette vallée forme un petit bassin plat, au milieu duquel se trouve le lac de *Sewen*. On lui conserve le nom de *lac*, parce qu'il était probablement plus étendu autrefois; aujourd'hui c'est plutôt un étang marécageux qu'un lac.

Moraine de Kirchberg.

Les *grandes glaces* ont laissé des *traces* remarquables de leur passage dans cette localité. En remontant cette vallée depuis *Massevaux*, on est frappé, en arrivant à *Kirchberg*, par la vue d'une *moraine frontale* qui s'étend d'un bord à l'autre sur une étendue

[1] Suivant la carte du dépôt de la guerre.

[2] Ce sont sans doute des dépôts siluriens qui ont subi une action métamorphique très-énergique.

d'environ 400 mètres et sur 10 mètres de hauteur. La majeure partie des matérieux qui forment cette *moraine*, sont *arrondis ;* cependant quelques gros échantillons de *granit* de plusieurs mètres cubes sont à *angles vifs* et *empâtés sur les points élevés*. Les champs cultivés en amont et en aval sont dépourvus de *blocs ;* les cultivateurs les ont enlevés de la surface pour les rassembler contre l'arête dorsale de la *moraine ;* ils forment des murs grossièrement établis.

A une centaine de mètres en amont, l'église du village est bâtie sur un monticule, qu'on pourrait prendre pour une seconde moraine ; mais en explorant le terrain, le marteau à la main, on reconnaît que ce petit mont est formé de roche en place, recouvert de quelques détritus, particulièrement sur le côté aval.

Oberbruck. Après *Kirchberg* on arrive à *Oberbruck*, et à partir de ce dernier endroit jusqu'à *Dolleren*, on remarque des accumulations considérables de *matériaux de transport*, déposés sur les flancs de la montagne jusqu'à une hauteur de 100 mètres ; il ne peut guère y avoir de doutes sur l'origine de ces matériaux : c'est une *ancienne moraine latérale* qui les a abandonnés sur les pentes où on les retrouve aujourd'hui.

Nous retrouvons dans cette vallée de *Massevaux*, comme dans les autres vallées des *Vosges*, cette disposition de *moraines frontales* à se placer par *échelons*, à quelques kilomètres de distance, dans le fond des vallées. Ce fait, dont nous aurons plus tard occasion de déduire des conséquences théoriques, est important à constater.

Le second degré de l'échelle se trouve à *Dolleren*, où une *moraine frontale multiple* barre de nouveau la vallée ; elle est clairement dessinée, et ici comme à *Kirchberg* les cultivateurs ont fait disparaître de leurs champs la plus grande partie des blocs, pour les accumuler contre la *moraine* en grands amas soutenus par un mur grossier ; ils ne les ont cependant pas tous enlevés, quelques blocs percent le niveau du terrain cultivé ; leur fort volume, qu'on peut apprécier par la portion découverte, les garantit de tout déplacement ultérieur.

Sewen. A 2 kilomètres plus haut se trouve le village de *Sewen*, placé au point où se bifurque la vallée principale. Ce village est sans contredit un des points les plus remarquables des *Vosges*, sous le rapport des traces que le phénomène erratique laisse écrites sur le *granit*.

De tous les moyens employés par la nature pour *user* et *frotter la roche en place*, on ne connaît jusqu'à présent que la force de propulsion d'un *grand glacier* qui puisse *arrondir* et *polir* le *granit*, comme on peut le voir à *Sewen*.

La *roche moutonnée* se montre à découvert sur quelques points de la rue principale du village même ; puis les surfaces les plus remarquables sont situées derrière les maisons sur la rive gauche. Une de ces surfaces, entre autres, forme une paroi à 60 degrés de pente, adossée contre la montagne ; elle est *usée* et *frottée* au point d'offrir, sur une petite échelle, la représentation exacte de la *Helleplatte*, près de la *Handeck*. D'autres surfaces aussi bien *polies*, *arrondies*, *taillées en dos d'âne*, percent au milieu des prairies et des jardins qui entourent le village. Ensuite on remarque, comme jetés au hasard, quelques blocs gros calibre de granit siénite, *arrondis*, qu'on peut qualifier d'*erratiques*, parce que la cristallisation de ces blocs n'est point du même grain ni de la même forme cristalline que le roc sur lequel ils reposent. J'ai mesuré un de ces blocs : il atteint 20 mètres cubes ; il est à gros cristaux isolés de *feldspath rose*, et provient du pied du *Ballon*, où la même roche se trouve en place ; il se laisse facilement entamer par le marteau tandis que la roche moutonnée en place est beaucoup plus dure, son *feldspath* n'est pas de la même couleur, ni en cristaux aussi volumineux.

En continuant à poursuivre l'exploration de cette vallée sur la rive gauche, on arrive bientôt au petit *lac de Sewen ;* en longeant ses bords, on passe sur une *prodigieuse quantité de blocs*, dont les uns sont *erratiques*, d'autres sont le produit des éboulements de la montagne ; ces derniers sont à *angles vifs* et de cette même roche particulière aux *Vosges*, roche qui tient le milieu entre la *roche cristalline* et la *roche de sédiment ;* les *erratiques* se distinguent par la *forme*, *la position*, *la nature* et la *composition de leurs éléments*.

Cascade du Dollsprung.

A 1 kilomètre en amont du lac on trouve la *cascade du Dollsprung*[1] ; elle représente en miniature la fameuse *chute de la Handeck:* même forme accidentée et inabordable, et ici, comme dans l'*Oberhasli*, la roche *polie et moutonnée* se montre sur tous les points où la végétation n'a pas envahi le terrain.

[1] D. A. Nous avons donné le nom de *Dollsprung* à cette cascade. Doll abréviation de la source de la rivière Doller, *Sprung*, saut, *Dollsprung* (saut de la Doller).

Un peu plus haut, en se rapprochant du pied du *Ballon*, la végétation arborescente cesse; un petit filet d'eau se précipite d'une assez grande hauteur dans la *Doller;* tout auprès de cette chute la roche est admirablement bien *usée et polie;* en l'examinant avec attention, on aperçoit distinctement les *stries* et le *sens qu'elles suivent.* Ces *stries* ne sont pas *burinées nettement*, comme sur *la roche schisteuse du Glattstein* dans la vallée de *Saint-Amarin;* il faut les voir à quelques pas de distance pour pouvoir se rendre un compte exact de leur direction.

Cette *siénite* est parfois couverte d'une couche épaisse de mousse et de terreau. Lorsqu'on la découvre, on remarque que la couche de terre, au lieu d'agir comme conservateur du poli, tend plutôt à le détériorer. En passant doucement la main sur la partie de la roche exposée de temps immémorial à l'action de l'air, et ensuite sur celle fraîchement découverte, on sent une légère dépression; il y a donc eu détérioration produite par la force de la végétation. Sur les *schistes* compactes des *Vosges* et sur les *calcaires alpins* on remarque un effet diamétralement opposé : lorsque ces roches *burinées* et *polies* sont exposées au contact de l'air, elles se détériorent; la terre végétale les préserve de toute destruction ultérieure. Cette siénité est probablement attaquée par les racines des végétaux, à cause des silicates alcalins qu'elle renferme [1].

Au pied du *Ballon* la limite supérieure des *roches polies* ne s'élève guère au delà de 50 mètres au-dessus de la Doller.

Quand on redescend la vallée sur la rive droite, le *granit moutonné* se retrouve sur plusieurs points, entre autres à 500 mètres en amont de l'*église de Sewen*, à 20 mètres du chemin; sur un *granit porphyroïde* à grain fin et dur, le *poli* a été si artistement travaillé par la nature, qu'il passe à l'*état miroitant; il peut se comparer aux plus beaux polis des Alpes.*

Les vallons latéraux ont donné lieu à une *grande accumulation de débris* à leur point de jonction avec le grand couloir principal.

La vallée latérale qui descend du *Bärenkopf* et se réunit à la grande vallée au village de *Sewen*, a apporté une masse considé-

[1] D. A. Cette décomposition des roches par la végétation est positive et demande à être étudiée.

rable de matériaux, composés en grande partie de *blocs métriques*, dont le sol est jonché.

La vallée latérale de *Rimbach* a aussi ses détritus distribués sur les deux flancs de la montagne; plusieurs *moraines latérales*, en partie démantelées par les eaux, montrent leurs tranches à découvert sur quelques points de ce vallon. Les *accumulations* les plus considérables de blocs sont dans le village de *Rimbach*. Vallée de Rimbach.

Cette vallée de *Massevaux* avec ses *accidents*, ses *moraines* et ses *roches de Sewen*, est un exemple de plus de l'identité complète qui existe entre le *terrain erratique des Vosges* et le *terrain en contact immédiat avec les grandes glaces des hautes régions*. Le *galet strié* y existe; j'ai pu en recueillir quelques exemplaires; mais il y est rare; les petits galets de granit ne se *raient* pas volontiers, et la *roche de sédiment* de cette vallée n'est pas de nature à recevoir un *burinage délicat*.

E. C. 15. **Vallée de Giromagny**[1]. L'axe principal de cette vallée, à partir du sommet du *Ballon d'Alsace* jusqu'à *Giromagny*, suit, à peu de chose près, la direction nord-sud. Sa longueur est de 9 kilomètres en suivant la ligne droite; mais si l'on compte les kilomètres sur ceux marqués sur la route, on arrive à un chiffre beaucoup plus élevé, à cause des nombreuses circonvolutions qu'elle décrit avant d'atteindre le col de la montagne. Vallée de Giromagny.

En pénétrant dans cette vallée par la route de *Belfort*, on rencontre à *Giromagny* une *moraine frontale triple*, sur laquelle est bâti le village. Elle encombre l'entrée de la vallée en la barrant transversalement d'un bord à l'autre, elle forme *trois plis principaux*, *trois grandes vagues parallèles et concentriques*. La ligne de faîte de ces vagues peut encore se suivre de l'œil, malgré les nombreuses constructions qui couvrent le sol. Ces vagues décrivent chacune une grande courbe, un arc de cercle dont les deux extré- Giromagny. Moraines.

[1] Cette vallée a déjà été l'objet de l'attention d'observateurs distingués. **M. Le Blanc** l'a signalée le premier et décrite sommairement, en 1837, à la réunion extraordinaire de la Société géologique à Porrentruy. Il avait dès lors indiqué les localités que j'ai étudiées en détail, et fait remarquer que les fondateurs de la fabrique de Wesserling, Suisses d'origine, n'avaient pas hésité, il y a quatre-vingts ans, à baptiser du nom de *morgine* l'amas de débris qu'ils avaient trouvé là. Il est revenu sur cette question dans le t. XII, p. 132 du *Bulletin*, et **M. Renoir**, dans le t. XI, p. 53 du *Bulletin*.

mités s'appuient sur les flancs de la montagne, le sommet de l'arc est tourné en aval. Cette forme concentrique se remarque du reste sur presque toutes nos *moraines frontales des Vosges*.

A *Giromagny* le fond du sol est un terrain de transition avec *grauwacke* ou *schistes argileux;* puis, un peu plus bas, on trouve un petit bassin de *terrain carbonifère*, tandis que les *matériaux morainiques* sont tous de provenance étrangère à la localité; ils se composent en majorité de blocs de *siénite*, dont la source se trouve au fond de la vallée et au sommet du *Ballon*, puis d'un beau *granit à grain fin;* ensuite de roche *dioritique* d'un vert foncé, qui appartient à une vallée latérale de la rive droite. On trouve encore sur ces *moraines* quelques petits blocs de *roche ancienne de sédiment* qui proviennent des vallées latérales de la rive gauche, et quelques fragments de moyenne taille de *roche de filon de quartz hyalin*.

Blocs erratiques.

C'est à *Giromagny* que l'on peut voir la plus grande accumulation de *blocs erratiques* dans les Vosges. *Cette agglomération de blocs* est du reste bien connue des naturalistes; il suffit de l'avoir vue une fois pour en être frappé. Sur la rive droite, immédiatement au-dessus des dernières maisons du village, les flancs de la montagne sont dépourvus de végétation, les blocs sont répandus sur ce versant à grande profusion, jusqu'à une hauteur de 50 à 60 mètres, sur un plan dont l'inclinaison dépasse parfois 30 degrés. Ces blocs sont assez volumineux; ceux de 1 à 5 mètres cubes sont généralement *arrondis*, ceux d'un plus fort échantillon sont parfois à *angles vifs*. J'ai mesuré un de ces derniers, de *roche dioritique verte;* il n'est pas fortement empâté dans le sol, il repose légèrement sur quelques petits *blocs arrondis de siénite;* il atteint le volume de 60 mètres cubes; il a conservé *la vivacité de ses angles*.

Le Querti.

Un peu plus haut, un petit monticule, qu'on appelle le *Querti*, est littéralement couvert de blocs, en grande partie *arrondis* et du volume de plusieurs mètres cubes.

La vallée de *Giromagny* doit se trouver dans les mêmes conditions erratiques que les autres vallées des *Vosges*, c'est-à-dire qu'il doit y avoir ici, comme ailleurs, plusieurs *moraines frontales*, échelonnées à quelques kilomètres de distance. En effet, en quittant *Giromagny* et en remontant le cours de l'eau, on arrive au village

du *Puix*, et à 1500 mètres plus haut on rencontre une nouvelle *moraine frontale multiple;* elle est plus facile à étudier que celle qui est à l'entrée de la vallée; elle n'est pas encombrée de constructions, elle est livrée à la culture. Elle coupe transversalement la vallée. Elle a aussi sa série de *petits monticules* concentriques disposés en *bandes allongées*. Sur quelques points elle est déchirée et démantelée par l'action des eaux, qui en ont emporté des fragments. Le Puix.

Elle ne renferme, du reste, rien de particulier, sauf sa position fort nette entre deux bassins à fond plat, en amont et en aval, ce qui rend son aspect d'ensemble d'autant plus caractéristique. Elle est encore remarquable par l'extrême mobilité des matériaux qui la composent, mobilité qui ne leur permettrait pas de résister au moindre courant d'eau.

A deux kilomètres au-dessus de cette *moraine*, la vallée est étranglée entre deux massifs de *roche cristalline*, à pentes rapides. Ces roches sont remarquablement bien *arrondies* et *moutonnées*, sur une grande échelle. Toutes les anfractuosités ont disparu; c'est la *véritable roche polie des Alpes*.

Après avoir franchi cet étranglement, la vallée s'élargit de nouveau pour reformer un petit bassin à fond plat. La *roche polie* continue à se montrer sur la rive droite au bord de la route, jusqu'au pied du *Ballon*. On y remarque des *stries parallèles* fort bien indiquées sur la roche de *siénite*, puis aussi *ce qui se nomme en Suisse des coups de gouge, c'est-à-dire des sillons profondément creusés*.

E. C. (H. H.) 16. **Versant occidental des Vosges**. Nous venons de décrire rapidement les accidents erratiques des principales vallées qui s'ouvrent au midi et à l'est de la chaîne des Vosges. Les anciens glaciers ont laissé des traces tout aussi bien imprimées sur le sol dans les vallées du revers occidental. Versant occidental des Vosges.

Nous trouvons des détails précieux sur ce sujet dans les travaux de **M. Hogard**; déjà en 1840, ce persévérant observateur avait signalé à l'attention des géologues des accumulations de débris, de véritables moraines, dont il attribue la formation à d'anciens glaciers. **M. Hogard**, revenant sur le même sujet dans un travail remarquable[1] par le nombre et la précision des observations, dé-

[1] *Observations sur les moraines et sur les dépôts de transport et de comblement des Vosges*, par **Henri Hogard**. Épinal 1842.

montre jusqu'à l'évidence que ces mêmes moraines n'ont jamais é
le résultat ni des éboulements des montagnes ni des alluvions trar
portées par les eaux, et que les masses d'eau en mouvement so
complétement étrangères à leur formation. En examinant les plar
les coupes, les croquis dont son travail est accompagné, et qui
laissent rien à désirer sous le rapport de l'exacte représentation d
choses, on demeure convaincu que les accidents erratiques du r
vers occidental des Vosges, aussi bien que ceux des autres vallé
de cette chaîne, sont le produit de l'action des grandes accumul
tions de glaces qui, dans les anciens temps, ont encombré c
vallées.

Nous allons citer quelques-uns des faits les plus saillants racont
par **M. Hogard**[1] :

Vallons de Rouge-Rupt et de la Grande-Courrue.

En quittant la plaine d'*Eloyes*, aussitôt que l'on parvient à
hauteur des vallons de *Rouge-Rupt* et de la *Grande-Courrue*,
s'aperçoit que les *amas* de *sables* et de *cailloux* s'élèvent de plus
plus au-dessus du fond de la vallée principale, et forment des *mo*
ticules de bas en haut, jusqu'aux cols d'où partent ces vallons.

Les surfaces de ces amas, loin d'être planes ou coordonnées
un plan général de stratification, sont au contraire très-irréguliè
et mamelonnées; on y chercherait inutilement les traces d'un a
cien dépôt divisé et morcelé aujourd'hui, et l'on reconnaît à le
inspection qu'ils sont indépendants les uns des autres, comme d
masses de remblais coniques, jetées çà et là sur un terrain que l'
aurait voulu recouvrir, et provenant d'un même point de dépar
mais ainsi disposées par *un agent* qui n'opérait pas à la fois, comn
les eaux courantes, le transport et le nivellement des matéria
soumis à son action.

Les *sables* et les *blocs* sont mélangés avec *confusion*, comparat
vement à ce que l'on observe dans les dépôts de comblement;
ne sont jamais disposés par ordre de pesanteur spécifique, en co
ches plus ou moins bien prononcées ; mais cependant on y remarq
un caractère constant : c'est que le sable et les menus gravier
plus ou moins mélangés, forment une masse dans laquelle les blo
se trouvent *comme suspendus* à toutes les hauteurs; ce qui indiq

[1] Ces citations sont précédées des initiales E. C. (H. H.).

que ces blocs ont été enfouis dans le sable à toutes les époques de la formation, qu'ils ont été rejetés en même temps que lui, enveloppés sur la place même où ils sont tombés.

Cônes d'éboulements.

Ces derniers dépôts ne peuvent être comparés aux *cônes d'éboulements* qui se forment sur les plaines et au pied des montagnes escarpées; les arêtes de ces cônes sont rectilignes, et leurs matériaux ont un arrangement particulier. Ici nous voyons des bourrelets irréguliers, souvent plus épais vers les lieux élevés que dans le fond des crevasses, offrant des renflements indistinctement, soit sur les pentes rapides, soit sur des plateaux isolés; appliqués sur les flancs des montagnes, soit d'un seul côté d'une vallée, soit sur les deux versants, mais à des hauteurs différentes.

Leurs matériaux, accumulés par masses, ne présentent pas l'arrangement qu'ils auraient pris s'ils avaient pu rouler au loin sur des plans inclinés, et se classer dans le fond des cavités, comme cela a lieu dans les cônes d'éboulements. Les renflements des bourrelets sur les points les plus élevés et sur les pentes les plus rapides sont des dispositions entièrement différentes de celles de ces cônes, dont l'épaisseur augmente progressivement du sommet à la base. La distribution des bourrelets sinueux qu'ils constituent, et dont les crêtes se relèvent dans les portions les plus profondes des vallées, doit faire supposer, au premier aspect, que les sables et les blocs de quelques-uns de ces dépôts ont été rejetés entre les parois des cavités ouvertes dans des massifs ayant une certaine tendance à se rapprocher, et qui exerçaient contre les détritus renfermés entre eux une pression considérable.

Dans cette localité que nous venons de citer, nous trouvons un premier exemple de deux terrains, composés tous deux de sables, de cailloux de diverses dimensions, et qui cependant diffèrent essentiellement l'un et l'autre, on n'en saurait douter. Dans le premier, celui que l'on suit jusqu'au *Col de la Grande-Courrue*, que l'on retrouve ensuite au *Col de la Demoiselle*, et qui descend jusque dans la vallée de la *Moselle*, par deux directions différentes en contournant la montagne de *Parmont*, on ne voit aucune trace de stratification, aucun arrangement indiquant le concours d'une eau courante qui aurait, sans le moindre obstacle, entraîné dans le fond des dépressions voisines la totalité de ces débris, appartenant

tous, sans exception, aux roches encore en place dans le voi
nage, aux *granits*, *eurites*, *grès des Vosges;* dans le second,
contraire, on voit qu'il y a eu nivellement des matières, qu'il y
eu transport dans le sens de la vallée, et l'on rencontre des roch
étrangères à la contrée.

Si nous continuons à remonter la vallée de la *Moselle*, nous re
contrerons ensuite d'autres amas de sables, de galets et de blo
différant, sous tous les rapports, des terrains de transport.

Lac de Fondromé. E. C. (H. H.) 17. **Lac de Fondromé.** En s'écartant vers la dro
et à quelque distance de la route, à la hauteur du pont de *Maxo*
champ, et après s'être élevé de 170 mètres au-dessus du niveau
la rivière près de ce pont, on parvient au *lac de Fondromé*, sit
dans un cirque ouvert dans le massif de la petite chaîne des *Vosg*
ce lac se trouve à peu près à moitié de la hauteur verticale, mesur
du fond de la vallée au sommet des montagnes qui l'entourent et
dominent, et dont les flancs sont déchirés et découpés en escarp
ments pour ainsi dire verticaux.

L'ouverture semi-circulaire qu'il occupe, ne ressemble en aucu
façon aux crevasses rectilignes ou sinueuses qui divisent les mass
minérales, et que l'on nomme vallées; c'est un entonnoir ouv
brusquement dans le flanc de la montagne, à la manière des bassi
de réception de certains torrents, mais ayant une issue largeme
ouverte et un canal d'écoulement peu profond, par lequel s'échapp
en un bien faible ruisseau, le trop-plein du lac, alimenté aujou
d'hui comme autrefois, sans aucun doute, par quelques source
par les eaux pluviales qui tombent sur les plans inclinés du pou
tour du bassin, mais dans lequel aucun ruisseau ne vient dégorg

La chaussée du lac est établie suivant une courbe présentant
partie convexe vers l'extérieur du cirque qui se trouve ainsi co
complété; de sorte que les eaux occupent un espace presque cir
laire, dont les limites sont, d'un côté, des montagnes de roc
granitiques, et de l'autre, une *ceinture de débris* amoncelés de
mêmes roches, sur la pente même du plan incliné, formant le p
longement de celui qui comprendrait le faîte et les flancs de
montagne, et qui se trouve interrompue vers son milieu.

Cette chaussée est formée, non par de roches, mais par
sables et des *cailloux arrondis* de diverses dimensions. Ces ma

riaux ont-ils été transportés et déposés par les *eaux courantes*, ou ne sont-ils que les restes d'un ancien *cône d'éboulement?* Assurément non! et pour s'en convaincre, il suffira de considérer de quelle façon ils sont déposés.

Ils forment du côté de la vallée un *bourrelet circulaire*, au point même où la pente de la montagne s'incline, à partir du pallier occupé par le lac et où les eaux auraient acquis une vitesse considérable, cette pente étant moyennement de 15 pour cent; un courant élevé au niveau du lac, et quelle que fût sa direction, aurait comblé le bassin, dont le fond est de 15 à 20 mètres en contre-bas de la chaussée. Un torrent partant du lac, en le supposant dans des circonstances que nous ne pouvons admettre, et en supposant qu'un torrent ait pu en sortir, aurait poussé les sables et les galets hors du goulot et au delà des cônes d'éboulement, les aurait ensuite déposés dans la vallée, tandis que la chaussée se trouve en tête de ce canal, et que, dans le bassin où les déjections auraient dû avoir lieu, il n'y a aucune trace de terrain de transport, composé d'éléments provenant des bassins du lac. Ce bourrelet circulaire ressemble encore moins à un cône d'éboulement à arêtes rectilignes, ayant à la partie inférieure un renflement où les plus gros blocs se réunisssent: ici, comme dans tous les dépôts que nous examinerons désormais, le sable forme une masse dans laquelle sont enveloppés et disseminés tous les autres matériaux, et des *blocs arrondis* qu'elle a en quelque sorte retenus et dont elle a empêché le déplacement.

Ces matériaux appartiennent à la localité même ; ils se sont détachés des parois du cirque et sont tombés ensuite dans le bassin ; mais celui-ci devait être rempli par un massif, sur lequel les *sables* et les *blocs* ne pouvaient se fixer et acquérir de stabilité, et autour duquel ils se sont accumulés successivement, en constituant une sorte de *ceinture* dont l'épaisseur augmentait de plus en plus. Ce massif a disparu, le remblai seul est resté, modifié sans doute au moment où un changement peut-être subit a eu lieu ; mais il a conservé dans son ensemble sa forme caractéristique, et il s'élève sur le bord d'une dépression dans laquelle un obstacle l'a empêché de descendre.

La coupure par laquells s'opère l'écoulement des eaux du lac pour-

rait s'approfondir facilement, si le volume des eaux débitées était plus considérable, mais elles manquent de la force nécessaire, et elle n'éprouve aucune modification sensible. Cependant si, par une cause accidentelle ou par suite d'un travail exécuté par la main des hommes, elle était creusée d'avantage, le lac ne tarderait pas à se dessécher et se convertirait en un marais tourbeux.

E. C. (H. H.) 18. Dans la *vallée de Cleurie*, ouverte dans des montagnes *granitiques*, on voit des *barrières* de sable et de graviers, coupées aujourd'hui par un ruisseau dont le lit a de 2 à 6 centimètres par mètre de pente ; ce lit est encombré de *blocs* que les eaux ne peuvent déplacer. A une époque peu reculée, les tourbières étaient presque totalement submergées; mais à la suite d'une inondation, le canal d'écoulement s'étant creusé de plusieurs mètres, l'eau a cessé d'être retenue et a abandonné graduellement le bassin qu'elle paraît avoir occupé longtemps, à en juger d'après la puissance de la couche tourbeuse.

A l'aval se trouve le *premier étage*, ayant une puissance de 92 mètres, terminé à l'amont par un talus incliné de 25 à 30 degrés, et à l'aval de 17 à 20 degrés ; vient ensuite l'*étage moyen*, sur le talus extérieur duquel quelques ravins se sont ouverts ; enfin à l'extrémité supérieure, le troisième et *dernier étage*, au pied duquel se termine le dépôt tourbeux.

Ce massif étant entièrement isolé et indépendant, ne se prolongeant ni à l'amont ni à l'aval, n'ayant aucune trace de stratification, n'offre aucun des caractères propres aux terrains de transport et de comblement, et vouloir attribuer sa formation à l'action des eaux, ce serait méconnaître les lois qui ont régi d'une manière invariable et constante les cours d'eau et leur mode d'action.

Vallée de la Moselle. H. H[1]. Dans les vallées de la *Moselle*, de la *Moselotte* et de *Cleurie*, on rencontre à chaque pas, des roches à *surface mamelonnée*, dont le *poli* est quelquefois encore assez net, mais dont quelques-unes commencent à se décomposer, et sur lesquelles on rencontre assez fréquemment des *stries*, des *cannelures*, et dans tous les cas, lors même que la décomposition a fait disparaître ces dernières en par-

[1] D. A. Ce chapitre H. H. (Henri Hogard) est extrait des *Bulletins de la Société géologique de France*, t. II, p. 249. *Note sur les traces d'anciens glaciers dans les Vosges* par **H. Hogard**.

e, des traces évidentes d'un *frottement* qui n'a pu être exercé que ar un *agent* poussé constamment dans le même sens et suivant une irection invariable.

Ces *rochers*, *ainsi façonnés*, existent tantôt sur les flancs des mon- agnes, à de grandes hauteurs au-dessus du fond des vallées, tantôt e relevant en massifs isolés dans les fonds mêmes de ces dépres- ions, tantôt formant enfin les *barrages des bassins* successifs u'elles présentaient autrefois. Nous nous contenterons de citer un eul exemple, pris à un point facilement accessible, près d'une rande route, sur les bords mêmes de la *Moselle*, et dans une posi- ion telle qu'on n'aurait pas hésité, il y a quelques années, d'attri- uer à l'action seule des eaux les dispositions dont nous allons endre compte.

A l'amont du tissage de *Meix*, commune de *Rupt*, à moitié chemin à peu près de *Remiremont* à *Saint-Maurice*, près de la route royale n° 66 de *Bar-le-Duc* à *Bâle*, s'élève un petit massif de *rochers granitiques* au fond même de la vallée, et au pied duquel la *Moselle* vient décrire un double coude, pour tourner l'obstacle qu'il oppose à son passage.

Toutes les surfaces inclinées vers l'amont sont *polies*, à l'excep- tion de celles du cône supérieur, dont les flancs démantelés ont éprouvé quelques déchirements, soit par suite de la chute de quel- ques fragements décomposés, soit par suite de travaux exécutés de main d'homme, à diverses époques.

Sur ces *surfaces polies* on remarque des *stries* tracées en ligne droite, s'élevant ou s'abaissant sur les pentes du rocher, malgré les nombreuses inflexions du plan sur lequel elles sont projetées, con- servant leur parallélisme, et suivant, sans éprouver de déviation, la direction de la vallée nord 51°,30′ ouest. Cependant, sur un point, elles courent au nord 50°,20′ ouest, ce qui établirait une différence bien légère et insignifiante de 1°,10′, eu égard à la dis- tance parcourue entre les directions des stries de l'une des surfaces et de celles des autres parties du rocher sur lesquelles ces directions ont été relevées.

On voit que ce massif formait dans le fond même de la vallée un obstacle qui a dû arrêter ou retarder la marche ; que du sommet au niveau du cours d'eau, son flanc gauche est incliné vers le thal-

weg, et qu'à l'amont, contre le courant de la rivière, il présente un escarpement bien prononcé, tandis qu'il s'abaisse graduellement vers l'aval, suivant une inclinaison beaucoup plus faible, et que, dans son ensemble, il affecte une courbure tracée à l'amont avec un rayon très-petit, comparativement à ceux du surplus de la surface du côté d'aval.

C'est sur le côté gauche et sur les parties planes et inclinées qu'on remarque plus particulièrement les *surfaces polies et striées* qu'un corps dur quelconque n'aurait pu *creuser* suivant des lignes droites parallèles, sans dévier sur ces plans inclinés transversalement, s'il n'eût été fortement engagé et maintenu dans une direction verticale par un corps solide, qui le faisait avancer en marchant avec lui, et ce n'est pas dans l'eau et avec le concours de l'eau à l'état liquide que des galets de substances minérales dures auraient pu, même par leur passage longtemps prolongé sur ce rocher, produire ces traces de *frottement* et *d'érosion* bien conservées, et qu'on ne voit se produire que sur les masses minérales soumises à l'action des glaciers actuels....

....Immédiatement au-dessus de ce rocher on ne rencontre plus de traces de *moraines*; celle qui probablement fermait la vallée, entre le tissage de *Meix* et *Maxonchamp*, a été entièrement détruite.

Mais à l'amont, sur la rive droite, nous avons cité les *moraines de Rupt*, dans un vallon qui descend de *Longegoutte*; à l'aval, sur la rive gauche, la *moraine terminale* du *lac de Fondromé*, et les *blocs erratiques disséminés* sur les flancs des montagnes voisines....

....La translation de ces blocs ne s'est pas opérée sans qu'ils fussent soumis à un *frottement* qui, pour quelques-uns, a dû être assez fort, à en juger d'après leur *poli* et leurs formes *arrondies*. Mais en les examinant attentivement, on reconnaît qu'ils ont dû marcher sans s'écarter de la direction initiale qui leur avait été imprimée, qu'ils ont avancé sans tourner sur eux-mêmes et sans éprouver ce roulement continuel que les galets et les blocs subissent dans les lits des torrents. En effet, les surfaces sur lesquelles ils reposaient tout en cheminant, sont généralement planes, et, de plus, elles sont souvent *striées*. Ces *formes*, ces *stries*, autant que leur position sur des plans très-inclinés, hors des limites que jamais les eaux courantes aient pu atteindre, ne laissent pas de

oute sur les causes auxquelles on doit attribuer leur transport, ussi bien que la formation des *stries*, des *sillons* et des *surfaces olies* dont nous avons parlé [1].

Karrenfelder.

E. C. 20. **Karrenfelder.** Dans la même vallée de la *Moselle*, à uelques lieues en amont de la *roche striée* décrite par **M. Hogard**, un petit vallon latéral de la rive gauche, qui prend naissance ans les replis du *Ballon de Servance*, s'ouvre dans la grande vallée n peu au-dessous du village de *Saint-Maurice;* c'est le vallon de la *relle*. Ce petit coin des Vosges présente un fait curieux sous le apport des différents mode d'*usure* auxquels la roche peut être oumise par les forces naturelles. On y trouve la roche de *syénite sée et corrodée par l'eau de ruisseau* et en même temps *polie et mou- onnée par les forces erratiques*. On peut y établir des points de com- paraison sur ces deux effets, aujourd'hui sujets à controverse, l'un produit par l'eau à l'état liquide, et l'autre par l'eau à l'état solide.

Vallon de la Prelle.

Syénite usée et corrodée par l'eau ; polie et moutonnée par les glaciers.

Le ruisseau passe sur la *syénite* en place, et, dans les endroits où le sable et les graviers n'encombrent pas son lit, on peut voir à nu l'action produite par un long travail de l'eau, action qui se continue encore de nos jours. L'eau creuse dans cette roche de petits *canaux irréguliers* de quelques centimètres de profondeur; elle *use* la pierre d'une façon particulière, en attaquant de préférence certains cristaux dont cette *syénite* est formée, et en respectant les autres, ou du moins en les usant moins.

On serait tenté de croire, en voyant ces *canaux irréguliers* qui *sillonnent* la *roche*, que les *silicates* dont elle est composée sont à la longue solubles dans l'eau, et que leur degré de solubilité présente des différences notables. L'un des *silicates* serait plus soluble que l'autre, et par conséquent il donnerait lieu à un commencement de *sillon*, qui se prolongerait, à la suite des temps, dans le sens du courant, d'une façon irrégulière et suivant sa distribution dans la pâte de la roche [2].

[1] *Note sur les traces d'anciens glaciers dans les Vosges*, par **M. H. Hogard** (*Bulletin de la Société géologique*, t. II, p. 249).

[2] La solubilité des silicates n'est pas une hypothèse tout à fait gratuite; certains *feldspaths* (le verre, qui est aussi un silicate, etc.) sont solubles dans l'eau. On peut s'en assurer en broyant de petits fragments de ces substances en poudre impalpable dans un mortier d'agate, puis en les arrosant avec quelques gouttes d'eau; cette eau rougit le papier de curcuma.

Hors des limites verticales, où le ruisseau peut atteindre dans les plus grandes eaux, limites très-bornées, les *sillons irréguliers* disparaissent, on n'en trouve plus; alors les veines du *quartz*, les *filons*, tous les *cristaux* dont cette *syénite* est composée, sont *coupés nets* sans distinction, au même niveau, qu'ils soient durs ou tendres; l'ensemble de la roche est fort bien *poli* et *arrondi*, jusqu'à une hauteur de 50 mètres au-dessus du lit actuel du ruisseau. On reconnaît à ce *poli* la trace d'un frottement d'une puissance considérable, *frottement* qui s'est exercé dans le sens de la pente générale du vallon; on peut en suivre la trace en examinant les *stries parallèles* dont le *poli* est accompagné sur certains points; ces *stries* s'aperçoivent très-bien si l'on se place sous un jour convenable.

Quant aux *sillons irréguliers*, ils ne me paraissent pas être autre chose que des *Karrenfelder*, produits par l'eau et les graviers, par leur frottement sur la roche pendant des milliers d'années, dont la forme dans le cas présent est soumise à l'influence de la composition minéralogique de la roche.

M. Ch. Martins a démontré d'une manière claire et évidente, par des exemples tirés d'observations faites dans différents pays, qu'il faut soigneusement distinguer ces *karren* des *sillons* et des *polis erratiques*, et que, lorsque ces trois accidents se trouvent réunis sur la même roche, il faut attribuer les *karren* à l'action prolongée de l'eau, et les *polis* et les *stries* à l'*action des glaces*.

Le vallon de la *Prelle* offre un exemple de plus de ce genre de phénomènes réunis sur la même roche.

Boue de glacier dans le terrain erratique.

E. C. 21. **Boue de glacier dans le terrain erratique.** Nous savons que les *glaciers*, par leur *mouvement* et par la *pression* qu'ils exercent sur les roches encaissantes, les *démolissent*, les *usent* et les *nivellent;* cette opération naturelle est toujours accompagnée d'une production de particules minérales excessivement fines, résultant du *frottement* et de la *désagrégation* de la roche; ces particules viennent se loger entre les masses de glace et les parois des montagnes; elles sont désignées par les glaciaristes sous le nom de *boue du glacier*. La quantité et la qualité de cette boue varient naturellement suivant le plus ou moins de facilité avec laquelle la roche se laisse entamer. *Au glacier inférieur de l'Aar*, cette boue est abon-

dante; elle est d'un blanc grisâtre; elle est en grande partie entraînée par l'Aar; c'est elle qui trouble la limpidité de ses eaux.

Elle n'est cependant pas lavée et entraînée au point qu'il n'en reste pas en place : on en trouve une couche très-prononcée dans les anfractuosités du terrain, où des filets d'eau n'arrivent pas facilement. Dans notre *Terrain erratique* nous avons fait remarquer en examinant les *moraines*, qu'on y rencontre souvent de forts amas de *terre argileuse*, qui rappellent en tout point la *boue de glacier*. Ces amas ne sont pas d'ailleurs particuliers aux *Vosges*, ils ont été remarqués dans presque tous les dépôts erratiques. **M. Durocher** parle de *détritus argileux* mêlés de *sable* et de *graviers* qu'il a remarqués sur le grand plateau du *nord de la Laponie*. En *Finlande* même observation. En *Pologne* le *terrain erratique* consiste d'après **M. Pusch** en couches de *sable* entremêlées de couches d'*argile*.

Dans l'intérieur de la *moraine de Schliffels*, on remarque deux variétés de dépôts *boueux argileux;* l'un, à la partie inférieure de la *moraine*, est en pâte excessivement fine, d'un blanc grisâtre; la poudre qu'il forme lorsqu'il est séché est un peu rugueuse au toucher; il est composé en grande partie d'éléments *quartzeux*. L'autre dépôt se présente sous forme d'amas non stratifié de *terre argileuse* rougeâtre, également en pâte très-fine, douce au toucher.

Voulant m'assurer jusqu'à quel point cette terre est susceptible de se déliter dans l'eau, j'ai fait sur la variété rouge de *Schliffels* une analyse mécanique, c'est-à-dire une simple séparation des éléments suivant leur volume, suivant leur poids relatif, sans qu'il soit nécessaire de faire intervenir l'action des dissolvants acides ou alcalins. (En petit, un remaniement par les eaux, un diluvium microscopique.)

Mille parties de cette terre, séchée préalablement à fond, et lavées à extinction par décantation, puis filtrée, séchée et passée au travers de tamis de différentes grosseurs, ont produit :

179 gros gravier;
331 sable moyen;
193 sable très-fin;
297 particules excessivement fines entraînées par l'eau.

1000

Voilà donc près de 30 pour cent de matières d'une ténuité telle qu'elles restent en suspension dans l'eau, et sont susceptibles d'être entraînées par le plus petit filet.

Nos dépôts latéraux renferment fréquemment les éléments de la boue du glacier; quelquefois ils sont stratifiés grossièrement; ailleurs ils sont disposés en *amas*, en *sacs;* parfois cette *boue* est, comme celle qui a servi à l'analyse ci-dessus, chargée d'*oxyde de fer*, ou bien elle est blanche et presque entièrement formée d'éléments *quartzeux* et *feldspathiques*.

J'ai remarqué un exemple de *stratification*, dans un dépôt de ce genre, dans un embranchement de la vallée d'Urbès. Ce dépôt a été transformé en carrière pour l'extraction du sable ; on peut ainsi facilement l'observer. La partie inférieure reposant sur un plan incliné est composée d'un amas incohérent de *blocs* et de *cailloux* de quelques mètres d'épaisseur ; puis vient une couche horizontale de *boue* excessivement fine ; elle est blanchâtre ; puis par-dessus une couche parallèle de *sable moyen*, et ensuite vient une troisième couche de *sable grossier ;* le tout surmonté d'un nouvel amas de *cailloux* et de *blocs* sans trace de stratification. La couche de *boue stratifiée* se trouve donc ici emprisonnée entre deux amas non stratifiés, et ensuite la portion la plus tenue de cette *boue* se rencontre précisément dans une position inférieure au sable grossier. — J'ai réussi à détacher un échantillon, un prisme de 5 centimètres de côté, de cette boue. Elle a la plus grande analogie avec la *boue du glacier de l'Aar*.

Ce dépôt, placé latéralement contre la montagne, paraît avoir un caractère *erratique* incontestable; on éprouverait de grandes difficultés si on voulait expliquer l'arrangement de ces matériaux autrement que par le fait d'un *glacier*. Ils se succèdent dans un ordre précisément inverse à celui que les eaux déterminent d'ordinaire. Il rentre évidemment dans la catégorie de ceux dont parle **M. de Charpentier**.

L'amas de *terre argileuse* que nous avons signalé à la *moraine d'Oderen* paraît provenir de la même cause.

La boue de glacier est adhérente aux roches. Mortier adhérent.

Elle se trouve encore dans une autre circonstance, où elle n'a pas le même degré de ténuité, où elle est moins fine, mais tout aussi bien caractérisée : c'est lorsqu'elle est adhérente à la roche en place *striée*, comme nous l'avons fait remarquer au *Glattstein*

roche elle a l'apparence d'un *vieux mortier solidement ag-* et cependant le *calcaire* y est tout à fait étranger; il faut u'au moment de son dépôt elle n'avait pas encore le degré té qu'elle a aujourd'hui.

lets mobiles *rayés*, si abondamment répandus dans nos *dé-tiques*, sont aussi fréquemment couverts d'une légère croûte fin, et de fragments plus gros, *incrustés solidement* dans s creuses du *galet*, surtout si ces pierres sont extraites ré- de l'intérieur d'un dépôt dans une carrière en exploitation. gue exposition aux agents extérieurs finit par détruire ces in- ns. Elles sont tout à fait identiques à celles que **M. Agas-** narquées sur les roches striées de la Suisse. **M. Agassiz,** ité nos dépôts des *Vosges*, y a reconnu la même source, la igine et l'absence de *calcaire*. Ce ne peut être que ce sable lans les temps *erratiques*, quand ces matériaux etaient doués ement, a fait l'office du *burin*. On retrouve dans le sillon le *quartz* qui a *rayé* la roche. Ce grain, associé avec une mpalpable provenant de la décomposition des *schistes argi-* ris, à la suite des siècles, cette consistance de *mortier ad-*

plus particulièrement sur les galets provenant d'une roche se qu'on trouve ces incrustations; les galets ou les blocs de d'autres roches cristallines en sont rarement recouverts.

22. **Marais et lacs propres au terrain erratique.** Marais et lacs.

nord de l'*Italie*, en *Suisse*, en *Norwége* et en *Suède*, la plu- auteurs sont d'accord pour attribuer la formation d'un ombre de *lacs* à la présence des *moraines*, qui, par leur on naturelle à *barrer les vallées* transversalement, retien- eaux supérieures et donnent lieu à l'existence d'un lac. s Vosges le même phénomène se rencontre à chaque pas petite échelle [1].

cs de Gérardmer, de *Longemer*, de *Fondromé* et un grand d'autres doivent leur existence à des moraines [2].

[1] **Le Blanc** et **Hogard** sont les premiers observateurs qui aient éveillé l'at- géologues sur ce sujet.

[2] Même phénomène dans les Alpes. Glaciers anciens et glaciers en activité.

Dans les localités où les lacs n'existent plus, parce que les co
pures pratiquées dans les *moraines*, soit par la main des homme
soit par la force des courants naturels, ont déterminé l'écoulemen
de la masse liquide tout entière, il reste toujours en amont de l
moraine des traces suffisantes pour qu'on puisse y reconnaître u
long séjour des eaux tranquilles. On peut en voir des exemples dan
la vallée de *Giromagny*, dans celle de *Massevaux*, dans celle d
Saint-Amarin.

La formation frontale de la *vallée d'Urbès* a donné lieu à la forma
tion d'un petit lac qui change d'aspect suivant les différentes saison
de l'année. En hiver, aux époques des grandes eaux, le lac se rem
plit; il arrive presque au niveau de la route[1] qui longe ses bord
sur la rive droite. En été il est transformé en prairies maréca
geuses.

En automne les émanations qui s'en dégagent donnent lieu au
fièvres intermittentes dont les habitants riverains sont parfois affec
tés. Son niveau moyen est de 10 mètres au-dessus de la vallée d
Saint-Amarin. Par des travaux d'art on parviendrait facilement
le dessécher en entier; si l'on approfondissait le chenal actuel d
deux mètres sur une longueur de 400 mètres, la section serait suf
fisante pour permettre un écoulement complet et rapide de toute
les eaux supérieures.

A *Wesserling* la *moraine* fermait si bien la vallée, qu'elle a évi
demment donné naissance, dans les temps anciens, à l'existence
d'une *nappe d'eau*, qui s'étendait à plusieurs kilomètres en amon
jusqu'aux villages de *Felleringen* et d'*Oderen;* un souvenir vague en
reste encore dans l'esprit des habitants, souvenir qui s'est transmi
de générations en générations. Il ne reste du lac que quelques pra
ries marécageuses, mais en examinant le terrain avec attention
on trouve en effet que rien ne s'oppose à l'admission de cette hypo
thèse.

La *moraine de Schliffels* est précédée en amont d'une espèce d'e
tonnoir de 800 à 1000 mètres de diamètre, qui n'est autre chos
qu'un *lac desséché;* le sol actuel en est marécageux, tourbeux,
ce n'est que par un long séjour sous les eaux tranquilles que
végétaux se transforment en tourbe.

[1] Route royale n° 66.

Un exemple remarquable de la formation d'un lac par le fait d'une moraine existe dans les Vosges au *lac des Corbeaux*, commune de *la Bresse* (Vosges); j'ai eu l'occasion de le vérifier tout récemment.

Lac des Corbeaux.

Le terrain a la forme d'un entonnoir de 5 à 600 mètres de diamètre à la surface actuelle du *lac*. Une échancrure donne lieu à l'écoulement des eaux; cette échancrure est barrée par une petite *moraine granitique;* les matériaux accumulés sur ce point sont entassés pêle-mêle, d'énormes *blocs anguleux* de 8 à 10 mètres cubes sont posés à la surface de cette moraine; ils sont mêlés de sable et de graviers, sans aucun ordre : ils représentent un véritable chaos. Aucun de ces blocs n'est complétement *arrondi*, comme on en voit beaucoup dans les parties basses de nos vallées; ils sont tous *anguleux*, les angles seulement légèrement émoussés. La débâcle la plus violente, le diluvium le plus formidable n'auraient pas eu la force d'entasser de pareils matériaux à la sortie de ce petit bassin.

Les *blocs*, les *graviers* et les *sables* de cette *moraine* ne sont point mélangés de *terre* ni de *boue;* ils sont *propres*, *lavés*, comme s'ils sortaient de l'eau.

Le fond de ce lac est aujourd'hui entièrement transformé en une couche épaisse de terre tourbeuse. Depuis que cette tourbe existe, nul changement, nul mouvement, nulle révolution n'est venu la déranger, la déplacer, ou entraver sa lente formation. On peut en juger sur la tranche d'une coupure pratiquée à l'extrémité du lac pour l'établissement d'une vanne d'écoulement. Les industriels du voisinage ont transformé ce lac en un réservoir pour l'alimentation de leurs usines. Son niveau a été abaissé de sept mètres; c'est là qu'on peut voir la coupe de cet amas de tourbe et de cette *moraine*.

Le terrain inférieur se compose d'un amas incohérent de *sable*, de *graviers*, de *blocs*, sans *traces de stratification*, sauf quelques couches minces de sable fin, disposé en *strates grossiers* et inclinés suivant la pente du fond. Ces matériaux sont les mêmes que ceux de la *moraine terminale*, c'est là évidemment le *terrain erratique*. Sur ce terrain repose immédiatement et sans transition le dépôt de tourbe; le *terrain erratique* est blanc, la terre tourbeuse est noire, la ligne de démarcation est nettement tranchée. La tourbe est relevée sur les bords et se termine en couche mince, elle a la forme

d'une capsule. Si quelque dérangement était survenu depuis le moment où elle s'est formée, on le remarquerait à son point de contact avec le *terrain erratique*. Mais ici la tourbe repose immédiatement sur le sable et les blocs, sans mélange, sans intermédiaire.

Ce lac était autrefois un *petit glacier*, le barrage naturel du lac était sa *moraine fron ale*; on y reconnaît tous les éléments des *moraines*, sauf les *galets striés* (cette absence de galets s'explique par l'absence de *roche schisteuse*). Puis le *glacier* a disparu, le *barrage* est resté, les eaux n'ont point pu s'écouler, le lac s'est formé, ensuite le terrain tourbeux; depuis lors plus de révolution. Ce terrain tourbeux est encombré, à une grande profondeur, d'une masse considérable de végétaux enfouis, de sapins, de hêtres tout entiers qui ont conservé leurs formes primitives; on retire beaucoup de bois de cette vase; mais il est dur, pesant, il brûle mal, et se rapproche de la nature des *lignites*.

Tous ces bassins, la plupart à fond plat, qui existent derrière les *moraines*, sont un fait de plus à ajouter à ceux que nous avons déjà exposés en faveur de la *théorie des anciens glaciers*.

Anciens glaciers de la vallée de Saint-Amarin.

E. C. 23. **Anciens glaciers de la vallée de Saint-Amarin.** Le *glacier* de la vallée de Saint-Amarin devait avoir au moins une masse de *4 milliards de mètres cubes de glace*.

Voici sur quelles données est établi ce chiffre.

La longueur de l'ancien glacier principal de cette localité était de 12,000 mètres, sa largeur moyenne 800 mètres, et sa hauteur moyenne 300 mètres; puis le glacier latéral d'Urbès avait une longueur de 4000 mètres, largeur 500 mètres, hauteur moyenne 300 mètres.

$12{,}000 \times 800 \times 300 =$	2,880,000,000
$4{,}000 \times 500 \times 300 =$	600,000,000
plus les autres glaciers latéraux de Schliffels, Saint-Nicolas, Krüth = . . .	520,000,000
	4,000,000,000

Quelle que soit la lenteur qu'on puisse supposer dans la fusion de cette masse de 4 milliards de mètres cubes, il n'en est pas moins résulté des torrents impétueux qui ont ravagé la vallée, déterminé des ruptures dans les moraines et accumulé sur certains points des

masses de débris. Mais, ainsi que nous l'avons fait observer en parlant du profil du pied des montagnes sous forme de *terrasses parallèles*, on peut aisément distinguer ces débris remaniés par les eaux de ceux qui n'ont pas subi de déplacement depuis le moment où ils ont été déposés sur le littoral de la mer de glace.

Limites du phénomène erratique.

E. C. 24. **Limites du phénomène erratique.** La limite d'action des *anciennes glaces* est fort difficile à déterminer exactement. Dans un sens horizontal, on peut s'arrêter à la ligne des *moraines frontales inférieures*; cependant il est évident que pendant la période où notre contrée a été couverte de grandes glaces, période qui a dû comprendre un long espace de temps, il y a eu un moment où les *anciens glaciers* ont pris une extension et un accroissement considérables, à en juger par les débris qu'ils ont laissés sur place à plus de 500 mètres au-dessus du fond des vallées.

Vallée de Saint-Amarin.

Dans la vallée de *Saint-Amarin* on peut admettre *trois zones*, trois lignes à peu près horizontales, qui indiquent la limite d'action des anciens glaciers.

Ligne inférieure.

A. La *première*, que j'appellerai ligne inférieure, se maintient à partir de la *moraine frontale de Wesserling* jusqu'au fond de la vallée, à environ 100 mètres au-dessus du sol actuel. Elle se reconnaît facilement, sur la rive gauche d'abord, par une *ligne de blocs déposés horizontalement* sur le flanc des montagnes encaissantes, surtout dans les anfractuosités produites par l'ouverture des vallées latérales. Un amas horizontal considérable de beaux *blocs de granit* se remarque au-dessus du *Hasenbühl*, près de *Felleringen*. Puis un autre au-dessus du village d'*Oderen*; ensuite au-dessus du village de *Krüth* et auprès du rocher de *Wildenstein*.

Sur la rive droite, cette *première ligne de blocs* peut se suivre de l'œil sur toute l'étendue de la vallée; elle pénètre très-avant dans les vallées latérales. Dans la vallée d'*Urbès*, deux *longues lignes de blocs et de débris*, à une centaine de mètres de hauteur, suivent tous les mouvements horizontaux du sol.

Les *monticules isolés*, qui percent comme des îlots au milieu de la vallée principale et dont nous avons parlé à l'occasion des moraines par obstacle et qui ne dépassent pas 100 à 120 mètres de hauteur, sont tous parsemés de *blocs erratiques* à leur sommet.

Les blocs de cette ligne sont les uns à *angles vifs*, les *autres arrondis;* ces derniers présentent fréquemment, lorsqu'ils sont *en granit*, une de leurs faces *rayée de stries rectilignes* à plusieurs millimètres de profondeur, ce sont des *galets monstres* quelquefois de plusieurs mètres cubes, sauf que les *stries* n'en sont ni croisées ni parallèles; elles divergent en rayonnant d'un centre commun.

Ligne moyenne. B. La *seconde*, que nous nommerons *ligne moyenne*, est moins abondante et moins bien accusée; elle n'est plus formée de grands amas de blocs et de débris; on les rencontre isolés, jetés un peu au hasard sans l'accompagnement obligé de galets et de sable; cependant ils sont véritablement *erratiques*, ils en possèdent tous les caractères; on en recontre sur les pentes du *Drumont* et de plusieurs autres de nos montagnes, à plus de 500 mètres de hauteur.

Ligne supérieure. C. La *troisième ou ligne supérieure* est marquée dans nos montagnes par la présence de blocs à une hauteur considérable; ainsi on rencontre des blocs métriques tout près des sommets les plus élevés, tels que le *ballon de Guebwiller*, le *ballon d'Alsace*, le *Drumont*, le *Hoheneck*, à près de 1000 mètres au-dessus de la vallée; ils sont *arrondis*, *usés*, d'une roche différente de celle qui les supporte; ils ne sont pas *striés* et paraissent excessivement anciens, à en juger par les érosions de leur surface, érosions produites par le laps des siècles; ils ne sont *pas accumulés* en grande masse, ils sont *très-espacés* les uns des autres; leur distribution avec parcimonie fait qu'en suivant la ligne de faîte de la chaîne des *Vosges*, on parcourt souvent une distance de plusieurs kilomètres sans en rencontrer un seul; puis on en trouve un amas d'une douzaine qui jonchent le sol pour cesser ensuite. A quelques centaines de pas d'un des sommets du *Hoheneck*, sur le versant occidental, ils sont répandus avec un peu plus d'abondance; ils sont en *granit*, *mais d'un grain tout différent de celui de la roche en place;* ils ne sont pas du reste accompagnés de menus débris, qui ne manquent jamais de suivre les blocs de la région inférieure.

Ils ne proviennent pas d'éboulements supérieurs: leur position sur des cols élevés ne permet pas cette supposition.

Ils sont séparés de la seconde ligne par une zone de 500 mètres de largeur, où l'on ne rencontre que fort peu de blocs. Leur aspect extérieur est si différent de celui des blocs de la région basse, leur

surface est tellement *usée par le temps*, qu'il est difficile d'admettre que leur origine remonte à la même époque ; ils datent peut-être du moment du soulèvement de la chaîne elle-même.

Leur transport par les glaces pourrait être sujet à contestation ; il faudrait, dans ce cas, supposer des glaciers d'une épaisseur et d'une puissance telles qu'ils ne seraient pas restés enfermés dans l'enceinte étroite des vallées des Vosges ; ils auraient débordé dans la grande plaine du Rhin, et jusqu'à présent on n'y a pas trouvé de traces de leur passage.

Je n'ai donc pas cru devoir les faire figurer sur ma carte ; ils sont bien erratiques suivant l'étymologie du mot, mais ils ne le sont peut-être pas suivant la signification qu'on y attache aujourd'hui.

Les limites du terrain erratique, ou ce qui revient au même, le littoral des *anciens glaciers* peut donc se tracer sur une carte en suivant la ligne des débris qu'elles ont rejetés sur leurs bords. D'une part, les *moraines frontales inférieures* donnent la mesure de l'étendue des glaces dans le sens horizontal, puis les accumulations de blocs et de débris, disposés en lignes horizontales sur le flanc des montagnes, indiquent la hauteur à laquelle les anciennes glaces se sont élevées.

Matériaux erratiques déposés.

E. C. 25. **Les matériaux erratiques ont été déposés avec une lenteur extrême.** Les *moraines* étant un composé de *détritus minéralogiques* dont la dimension varie depuis le grain de sable le plus fin (poussière) jusqu'au bloc de plus de 5000 mètres cubes [1], il est intéressant de savoir si ces matériaux ont été amenés sur le point où nous les retrouvons aujourd'hui par une voie de transport brusque et rapide ou par le moyen d'un travail de longue haleine. Il nous sera facile de démontrer que ces amas ont été *formés avec une lenteur extrême*. Les *anciennes moraines des Vosges* qui ont été démantelées sur un point de leur surface ou qui ont été entamées par la main des hommes, laissent voir dans leur intérieur le mode de tassement des matériaux : *ils présentent généralement entre eux des espaces vides, des creux qui ont souvent 50 ou 60 centimètres de profondeur ;* d'autres fois ces petites cavernes n'ont que quelques cen-

Les espaces vides, creux, dans les moraines sont une preuve de l'origine glaciale de ces moraines.

[1] Bloc monstre sur une montagne de gypse appelé le *montet*, provenant des montagnes qui bordent la vallée d'Avançon (voy. C. 40).

timètres d'ouverture. Les blocs métriques empâtés dans des masses de graviers et de sable reposent par fois sur quelques blocs de moindre dimension qui forment pieds ; entre ces pieds existent les vides. Nous avons déjà fait remarquer que des vides pareils existent en grand nombre dans la *moraine de Wesserling*. Dans les autres *moraines* de la vallée de *Saint-Amarin* on en rencontre fréquemment.

On peut se rendre compte de ce fait si l'on a vu une *moraine* en voie de formation. Dans l'été de 1845 j'ai eu l'occasion d'assister à ce genre de phénomène : j'ai passé plusieurs jours en station d'observation au pied du *talus terminal du glacier de l'Aar ;* j'ai vu les pierres de toutes les dimensions, depuis les blocs les plus volumineux jusqu'au sable fin, se détacher du sommet du talus, se précipiter le long de la pente de glace et tomber sur la *moraine*. De temps en temps, toutes les minutes, tous les quarts d'heure, suivant les circonstances de la fonte et de la position des matériaux sur l'arête terminale du glacier, on était averti par un grand bruit de la chute d'un gros bloc. Les *menus débris*, les *sables* glissent sans faire beaucoup de bruit, ils forment de petites *avalanches, de petites traînées,* et vont rejoindre la masse des matériaux au pied du glacier.

Ces matériaux s'y entassent sans ordre, sans classement, sans distinction de volume et en laissant entre eux des *vides* et des *cavités* exactement pareils à ceux qu'on remarque dans l'intérieur de nos *anciennes moraines des Vosges*.

Ces petites cavernes sont une preuve de l'*origine glaciale de ces moraines* et puis de l'extrême lenteur, de la longue période de temps[1] écoulée pendant leur formation ; elles indiquent également que les eaux ne sont pas intervenues d'une manière sérieuse dans la formation de ces amas.

Direction et point de départ du terrain erratique.

E. C. 26. **Direction du phénomène erratique et son point de départ.** Pour ceux qui admettent l'*existence d'anciens glaciers dans les Vosges*, cette question est facile à résoudre, puisqu'on sait que les *glaciers actuels* sont ordinairement encaissés dan

[1] La longueur de la période en temps absolu, comme nous le verrons plus loin, peut se déduire approximativement de la masse des matériaux divisée par le nombre de mètres cubes débarqués dans un temps donné sur une moraine.

le fond des vallées ; quel que soit le point de l'horizon où l'axe de ces vallées se trouve dirigé, les glaciers en suivent toujours la direction de toutes les sinuosités accidentelles. Néanmoins, parmi les savants qui ont observé le *phénomène erratique* dans le nord, et qui ne font point entrer les *anciens glaciers* comme cause du phénomène, il en est qui attachent une grande importance à la direction des stries dont les roches de ce pays sont couvertes.

Les stries sont constamment situées dans la direction de l'axe principal de la vallée.

Dans les *Vosges*, nos *stries* sont constamment situées dans la direction de l'axe principal de la vallée où elles se trouvent, sauf quelques rares exceptions, comme nous en avons cité une au *Bärenberg*, exceptions qui peuvent s'expliquer sans qu'il soit nécessaire de recourir à une hypothèse extraordinaire.

Le phénomène des *anciens glaciers* ayant imprimé sa marche sur les roches, on n'a qu'à suivre le *sens des stries* pour connaître sa direction. On trouve ainsi qu'il est parti des points culminants de la chaîne, en suivant les pentes naturelles du fond des vallées. Si la vallée est ouverte au sud-est, comme la vallée de *Saint-Amarin*, les *stries* remarquées sur les roches se dirigent dans le même sens. Si la vallée s'ouvre dans la direction du sud, comme celle de *Giromagny*, les *stries* sont dans la direction nord-sud. Sur le versant occidental de la chaîne, dans la vallée de la *Moselle*, **M. Hogard** a décrit une roche dont les *stries* suivent la direction nord, 50°, 20′ O, et la vallée elle-même court au nord, 51°, 30′ O. La différence est trop insignifiante pour que nous ne devions pas considérer ces lignes comme parallèles[1].

Le phénomène n'a donc point eu une direction unique, il a rayonné autour des points culminants de la chaîne ; il n'a pas dépassé leurs limites en hauteur, il s'est maintenu dans le fond des vallées. Nous avons vu tout à l'heure qu'on peut tracer sur la carte, qu'on peut poser les bornes de sa sphère d'activité.

Il n'a pas eu la force suffisante pour sortir des vallées et s'étaler dans les grandes plaines qui entourent le système des Vosges. Les moraines *frontales inférieures* donnent la mesure de l'étendue en longueur qu'il avait à une certaine époque. (D. A. Dans toutes nos vallées on peut remarquer qu'en amont de ces *moraines*, tous

[1] *Bulletin de la Société géologique*, t. II, p. 249.

les accidents propres au *terrain erratique* se rencontrent à profusion, tandis qu'en aval, ces accidents disparaissent; ni les roches ni les galets ne sont plus *striés*, et les accumulations de débris ont tous les caractères des matériaux remaniés par les eaux.)

On pourrait objecter que les *stries croisées* sur roche en place, dont nous avons parlé, sont indépendantes des *stries rectilignes* et proviennent d'une autre cause. Mais d'abord ces croisements de lignes ne se remarquent que sur les roches qui encaissaient latéralement l'ancien glacier; dans cette position il n'est pas absolument impossible de se rendre compte du fait, si nous admettons pour le moment:

1° Que la période pendant laquelle les grandes glaces ont séjourné dans nos contrées a duré pendant un espace de temps très-long, une masse de siècles considérable;

2° Que les *anciens glaciers* ont été doués de *croissance* et de *décroissance*, non-seulement dans le sens horizontal, mais encore dans un sens vertical.

Ces deux hypothèses ne sont pas de la théorie pure; elles reposent sur des faits matériels. Il est évident que, pendant la période d'activité du glacier, le milieu ambiant a dû subir des changements considérables, si l'on en juge par la position des matériaux qu'il a déposés sur le terrain pendant sa lente agonie, position échelonnée à plusieurs kilomètres de distance.

Si notre *glacier* augmente de volume dans le sens de son épaisseur, et en même temps dans le sens de sa longueur, il a dû *rayer les roches de contact*, suivant une ligne qui ne peut être que la résultante de ces deux forces. Et si un mouvement de décroît vient à à surgir dans le régime du glacier, par suite de circonstances atmosphériques qui nous sont inconnues, les stries imprimées sur la roche ont dû suivre une direction en rapport avec ce nouveau mouvement[1].

[1] Ces stries croisées ont été récemment l'objet d'une observation très-précise de la part de **M. Escher von der Linth.** Dans une note adressée à la Société géologique *sur quelques phénomènes des glaciers en Suisse*, **M. Escher** dit : «... A une lieue en amont des « bains de Pfeffers, dans la vallée de la Tamina, on trouve à la surface de la roche « calcaire en place polie, sur de grandes étendues, des raies à peu près horizontales et « larges de 1/2 à 4 millimètres. Ces raies montrent dans leur creux très-évasé de pe- « tites entailles *transversales*, presque toujours plus ou moins courbées, éloignées d'or-

L'existence et le régime d'un glacier dépendent des circonstances météorologiques qui l'entourent; or donc, si le glacier a été soumis pendant sa vie à des fluctuations profondes dans sa marche et dans son allure, les *stries* résultant de son frottement sur les roches ont dû accompagner ces mouvements dans toutes leurs phases; de là ces croisements sous différents angles que nous avons remarqués sur la surface de nos roches [1].

Le phénomène qui a donné lieu aux *accidents erratiques dans les Vosges*, a donc eu une direction analogue à celle qui existerait si ces mêmes vallées étaient aujourd'hui placées dans des conditions telles que de grandes glaces puissent y vivre et prospérer.

E. C. 27. **Roches polies et striées.** Elles sont décrites par **M. Agassiz** dans les termes suivants : Roches polies et striées.

« Les *glaciers* exercent aussi une action continue et très-marquée « sur les flancs et le fond des vallées qui les encaissent. Ils les « nivellent par le *frottement* et en *arrondissent les angles et les grandes « inégalités ;* souvent ils les *polissent* aussi parfaitement que pourrait « le faire la main du marbrier coupant les corps fossiles et les con- « crétions qui s'y rencontrent, et exerçant leur influence sur la « tranche des couches aussi bien que sur leurs plans. En même « temps les particules les plus dures de la couche de boue, entre

« dinaire l'une de l'autre de 0m,3; leur convexité est tournée constamment en amont de « la vallée. Ces entailles ont tout à fait l'air de la trace d'un outil semblable à un ciseau, « qui, mis en mouvement par un mécanisme lent, un peu branlant, attaque tantôt plus, « tantôt moins fortement la substance soumise à son action. Je crois que personne, en « voyant le phénomène, n'hésitera à l'attribuer à un mouvement *très-lent*, semblable à « celui des glaciers, et à le trouver tout à fait incompatible avec un mouvement rapide.

« La roche polie en amont de Pfeffers, déblayée depuis peu par l'effet d'un ruisseau, « des détritus qui l'avaient couverte et garantie jusqu'à présent contre l'influence de « l'atmosphère, présente encore une autre particularité. Perpendiculairement à peu près « aux sillons qui suivent la direction générale de la vallée, on y voit des stries nom- « breuses toutes fines, de profondeur peu appréciable, sensiblement parallèles entre « elles et dirigées dans le sens de la pente la plus forte. Ces stries traversent en quel- « ques endroits les sillons longitudinaux d'une manière si claire, qu'on voit qu'elles sont « les plus nouvelles. J'ignore l'explication que les défenseurs des courants donneraient « de cette circonstance ; dans la théorie des glaciers, elle se présente comme le résultat « du mouvement lent que le détritus de la surface du glacier a subi pendant l'abaisse- « ment et la fonte du glacier... » (*Bulletin de la Société géologique*, 2e série, t. III, p. 119).

[1] D. A. Voy. paragraphe D. A. *Glaciers en activité. Stries.*

« autres les petits cristaux de *quartz*, agissent comme un *émeri* sur « le rocher que le *glacier recouvre*, et *gravent* sur les *surfaces polies* « une multitude de *stries rectilignes*, plus ou moins fines et sensi- « blement parallèles entre elles. Ces *stries* sont absolument indé- « pendantes de la structure de la roche, ainsi que du clivage et de « la stratification ; elles suivent, au contraire, toujours la direction « que les formes du terrain ont dû imprimer aux glaces.

« Outre ces *fines stries*, on remarque souvent, sur les *surfaces* « *polies*, en contact avec les glaciers, de larges *sillons longitudinaux*, « dont la surface est aussi parfaitement *lisse* et *polie*. Il est probable « qu'ils sont occasionnés par les gros cailloux empâtés dans la glace « et qui, à raison de leur volume, doivent user davantage la roche « en la frottant.

« Les divers phénomènes que je viens d'énumérer ne se rencon- « trent pas seulement dans le domaine des *glaciers actuels ;* on les « retrouve dans une foule de localités où, de mémoire d'homme, « on ne se souvient pas d'avoir vu des glaciers.

« Les *roches polies* et *striées* nous permettent de suivre, comme à « la piste, les *anciens glaciers*, jusqu'en des lieux où on ne les aurait « jamais soupçonnés. »

Il est donc incontestable que les *glaciers* ont la propriété d'*user* et de *rayer les roches* qui sont en contact avec eux. Deux savants observateurs ont, pour ainsi dire, pris le glacier sur le fait pendant qu'il *usait et travaillait* la roche. **MM. A. Bravais** et **Ch. Martins**, lors de leur voyage scientifique en Suisse, racontent « qu'au « *glacier inférieur de Grindelwald*, ils ont pu détacher de grands « échantillons de rochers *calcaires polis* et *striés*, dont les uns étaient « en contact avec les parties latérales, les autres avec la surface in- « férieure de ce *glacier*. La position de ces rochers, leur forme, la « direction et la nature des stries prouvent incontestablement « qu'elles sont un effet de l'action de la *glace* et du *gravier* interposé « sur la roche qu'ils recouvrent[1]. »

J'ai pu, de mon côté, observer le même fait cette année (1846) au *glacier de Rosenlaui*. Ce glacier, pendant le courant de l'été s'est retiré ou fondu à sa partie terminale d'environ 17 mètres ; il

[1] Rapport adressé au ministre de l'instruction publique sur leur mission scientifique dans les Alpes, par **MM. A. Bravais** et **Ch. Martins.**

laissé en avant de son front, sur le sol qui lui a servi de lit, de larges dalles de *calcaire* en place, fraîchement *striées* et *burinées*, exactement comme nos roches des Vosges. J'ai même pu pénétrer sous le glacier par une galerie naturelle de 25 à 30 pas de longueur, formée par une *ancienne crevasse* refermée par le haut. J'ai pu voir le *travail du glacier* sur la roche; le sable et la boue, ou, pour mieux dire, le *burin* était en pleine activité entre les masses de glace et la roche.

On a reconnu de ces roches, non-seulement dans la sphère d'activité des *glaciers*, mais à des distances très-considérables de leur origine; d'abord en *Suède* et en *Norwége*, en *Écosse*, dans le *Jura*, dans les *Pyrénées*, puis sur toute la ligne de la chaîne des Alpes, depuis la *Savoie* jusqu'en *Tyrol* etc. [1]

Dans le Nord, dans l'intérieur de la *presqu'île scandinave*, sur la route de *Christiania à Ringerige*, **M. W. P. Schimper** a trouvé de ces roches « dont les stries sont en lignes droites, simples, for-« tement *burinées*, exactement parallèles entre elles, se continuant « sur une longueur considérable, de 2 à 3 mètres, sans s'inter-« rompre et sans changer de direction; on dirait la roche travaillée « par un *rabot monstre* à proéminences inégales. Les bords des fis-« sures qui traversent la pierre sont restés parfaitement *tranchants;* « les *rognons siliceux poreux* sont coupés en deux, comme les nœuds « de branches d'une planche rabotée; les *rognons compactes*, au « contraire, ayant réagi sur la masse rabotante, font *saillie* et sont « suivis d'une proéminence prolongée en ligne droite et ne s'apla-« nissant qu'insensiblement, ce qui prouve à l'évidence que le creux « produit dans l'*agent rabotant* par le rognon s'est encore conservé « pendant quelque temps après avoir dépassé ce dernier [2]. »

On a aussi observé dans différentes contrées des *stries erratiques* sur des roches dont les parois surplombent de manière à former des voûtes. **M. Agassiz** dit « qu'on remarque, sur les bords des « *glaciers de Rosenlaui*, de l'*Aar*, de *Viesch*, des *parois qui surplom-« bent fortement*, et dont la face inférieure, reposant sur le glacier, « est aussi bien *polie* et *rayée* que le fond même sur lequel le gla-

[1] *Comptes rendus de la séance de l'Académie des sciences*, t. XXII, p. 44.

[2] D. A. Roches polies et striées, reconnues identiques à celles des Alpes, dans les Vosges, la Forêt-Noire, en Écosse, dans les Pyrénées, la Sierra-Nevada (Espagne) etc.

« cier repose, et cela se conçoit facilement, lorsqu'on sait comment « les *glaciers* suivent toutes les sinuosités des vallées qui les con- « tiennent, et se moulent dans toutes leurs anfractuosités. La plus « belle voûte dans laquelle j'aie vu le bord d'un glacier s'engager est « située au-dessous du grand *plateau de névé*, qui s'étend du *col de* « *l'Oberaar* jusqu'à l'endroit où le *glacier de Viesch* s'encaisse dans « la vallée par laquelle il s'écoule. Elle se trouve sur la rive droite « du *glacier*, près d'un petit lac, au pied de l'*Æggishorn;* on en voit « une semblable près de l'extrémité du *glacier de Rosenlaui*, égale- « ment sur son flanc droit; enfin, je puis en citer une troisième « sur le flanc gauche du *glacier de l'Aar*, au pied de la *cime* du « *Rothhorn de l'Aar*[1]. »

Dans les *Vosges*, l'existence des *roches striées* n'a été reconnue que tout récemment. Celles qu'on y a signalées sont bien identiques aux roches *striées* des lieux où les *glaciers* sont en pleine activité, et nous verrons plus loin que dans quelques-unes de ces vallées j'ai trouvé de ces roches qui ne laissent rien à désirer sous le rapport de leur ressemblance parfaite avec celles qu'on a pu détacher sous les *glaciers;* elles ont un caractère *erratique irréfragable.*

Cette identité est un point de théorie géologique important à constater, parce que les observations auxquelles ces roches ont donné lieu, sont encore sujettes à contestation; et les faits relatifs au phénomène erratique se rattachent plus ou moins directement au grand problème de l'histoire de la terre.

Par une étude attentive de ces surfaces, j'ai eu l'occasion d'y remarquer quelques accidents, dont les auteurs ne font pas mention; j'ai été ainsi conduit à distinguer sur ces roches trois systèmes de stries différents :

1° *Stries rectilignes;*
2° *Stries saccadées;*
3° *Stries cannelées.*

Ces trois variétés de l'espèce se rencontrent fréquemment sur le même échantillon.

[1] Extrait d'une lettre de **M. Agassiz** à **M. Élie de Beaumont** (*Comptes rendus*, t. XXI, p. 1331).

E. C. 30. *a*) Les *stries rectilignes* ne sont pas toujours droites et parallèles entre elles, elles décrivent fréquemment une courbe, mais comme c'est toujours une courbe à grand rayon, elles peuvent conserver leur dénomination de *rectilignes;* elles sont parfois *croisées,* les unes relativement aux autres, et se coupent sous un angle aigu. Stries rectilignes.

E. C. 30. *b*) Les *stries saccadées* sont particulières à la roche schisteuse; elles sont interrompues, intermittentes; leur trajet, leur sillon se compose d'une infinité de temps d'arrêt, comme si le burin qui les a produites eût été interrompu dans son travail. A l'extrémité de chacune des sections dont ce sillon se compose, on voit un petit éclat de roche enlevé. Le burin paraît avoir labouré la pierre en l'attaquant de haut en bas sous un angle aigu et sur un trajet de 8 à 10 millimètres seulement, pour recommencer sa course un peu plus loin. Stries saccadées.

E. C. *c*) Les *stries cannelées* sont connues en Suisse sous le nom de *coups de gouge*, parce qu'en effet elles rappellent l'effet produit par cet outil, ou par un rabot, sur une surface plane; elles sont plus fréquentes sur la roche dure, sur le granit, que sur nos roches de sédiment. Stries cannelées.

Nous aurons l'occasion plus loin de décrire en détail certaines roches striées, où ces différents accidents se trouvent tous réunis; nous verrons aussi qu'ils varient dans leur forme et dans leur direction, suivant la position et la nature de la roche qui a servi, dans les temps passés, de planche au burin.

Ces observations préliminaires, ces détails sur le terrain erratique en général étaient indispensables avant que nous entrions dans l'observation des faits particuliers aux Vosges. Les questions qui s'y rattachent n'étant point encore épuisées, sont non-seulement sujettes à controverse, mais les observations les plus simples ne sont pas encore reçues comme des faits acquis à la science. J'ai donc pensé qu'il serait nécessaire d'exposer en peu de mots l'état actuel des choses, afin que chacun puisse juger en connaissance de cause les principaux éléments qui constituent le terrain erratique; nous pouvons procéder à son examen dans le massif des Vosges, en commençant par la vallée de Saint-Amarin, que nous avons plus particulièrement étudiée avec une attention scrupuleuse.

Roches striées et galets rayés d'origine non glaciaire.

E. C. 27. **Roches striées et galets rayés dont l'origine n'est pas glaciaire.** Un observateur peu exercé pourrait facilement être induit en erreur dans la recherche et dans l'observation des roches striées, s'il n'a pas soin de s'entourer de beaucoup de prudence et de circonspection dans l'appréciation de ce phénomène. C'est en parcourant les Vosges avec un habile géologue, dont les idées théoriques étaient tout à fait contraires à l'hypothèse des anciennes glaces, que mon attention a été éveillée sur ce point. Nous rencontrâmes quelquefois dans nos vallées des roches *striées* dont l'origine n'était évidemment *pas erratique*, roches qui parlaient en faveur de mon antagoniste.

Dans l'examen de ce phénomène, il y a trois choses dont il est essentiel de tenir compte :

1° De la position des roches relativement à celles qui les avoisinent immédiatement ;

2° De la nature même de la roche, de son degré de dureté, de la facilité avec laquelle elle se délite ;

3° De la direction de la stratification et du sens dans lequel les feuillets des *roches schisteuses* se sont superposés les uns aux autres.

Le glacier use les surfaces planes, convexes et concaves.

Ainsi, quant à la position des roches, on sait que les glaciers n'usent et ne polissent que les surfaces planes ou convexes, quelle que soit la direction des plans [1] ; qu'ils soient horizontaux, verticaux ou même en surplomb, le *burin* peut les atteindre ; il faut encore remarquer que les bords d'un glacier n'attaquent pas toujours les surfaces planes des roches encaissantes ; le glacier se crée souvent des points d'appui variables, sans qu'on puisse se rendre un compte exact du motif ; la ligne du bord saute quelquefois d'un rocher à un autre ; entre ces deux points, où le contact est intime, il laisse un espace vide et se tient à distance. Ailleurs le glacier atteint de son burin des surfaces légèrement concaves, mais à grands rayons. Si un obstacle solide se présente immédiatement en amont, le corps frottant ne pourra plus atteindre la roche. J'en citerai un exemple pris dans le terrain erratique des Vosges.

Il y a sur le monticule du *Marlen*, près d'*Oderen*, une roche

[1] D. A. Les glaciers usent toutes les surfaces : les planes, les convexes et les concaves

schiste argileux qui est *sillonné de stries* ayant quelque rapport avec les *stries glaciaires;* on pourrait les confondre, si la position de la roche, relativement à celle qui la touche immédiatement, n'était point une raison suffisante pour rejeter cette hypothèse.

Les *stries imprimées sur le rocher* étant dominées en amont par le rocher, ont été évidemment à l'abri de l'action errosive erratique; elles sont donc dues à une autre cause.

Polis et stries non glaciaires.

Quant à la nature de la roche, nous choisirons dans nos environs quelques exemples de *stries* qui pourraient donner lieu à une erreur.

Sur la route d'*Urbès à Bussang*, entre le kilomètre n° 4 et le kilomètre n° 5, il existe une roche *schistoïde* sur laquelle des *stries parallèles* sont assez bien dessinées, et dont la direction dans le sens de l'axe principal de la vallée pourrait faire supposer qu'elles sont *erratiques*. Toutefois, si on l'examine avec attention, on s'aperçoit que cette roche, formée de *feuillets ardoisiers* superposés les uns aux autres en plaques presque verticales, présentent, sur leur face plane, une infinité de *cannelures* dont le dessin, quoique exécuté avec moins de finesse, se rapproche beaucoup, pour la forme extérieure, des *stries glaciaires*. On peut s'assurer qu'elles proviennent de la nature feuilletée de la roche; en cassant un échantillon dans l'intérieur de la masse, on s'aperçoit que chaque feuillet présente le même phénomène. Ces feuillets intérieurs ayant été jusqu'ici à l'abri des agents extérieurs, n'ont donc pas été *striés* par un fait erratique.

D'autres *roches schisteuses*, dont la structure a de l'analogie avec celle de l'*ardoise*, offrent fréquemment la disposition *cannelée*, non pas sur la surface plane du feuillet, comme dans l'exemple précédent, mais sur les tranches de plusieurs feuillets réunis. On trouve des exemples pareils dans le fond de la vallée de *Schliffels*, derrière la *moraine* qui barre cette vallée. Les couches sédimentaires, aussi fines que les feuillets d'un livre, et relevées verticalement, ont, à la suite des temps, subi une action érosive qui leur donne l'apparence des *stries erratiques*.

Au débouché de cette même vallée de *Schliffels* dans celle de *Saint-Amarin*, en aval de la *moraine*, il existe de larges surfaces de roc *cannelées*. Par la position de cette roche, les *cannelures* pour-

raient tout aussi bien avoir été produites par un *moteur erratique* que par la force désagrégeante des agents extérieurs; mais comme elles correspondent exactement au sens de la stratification, il s'était élevé des doutes dans mon esprit sur l'origine de ce *burinage;* j'ai consulté pour cet objet les autorités de la science[1], qui ont été d'accord pour rejeter la cause que j'avais d'abord cru devoir admettre.

Polis et stries de strates.

On remarque encore dans les Vosges des *roches striées* dont la structure est fort singulière. Elles existent aux points de contact de la *roche de sédiment* et de la *roche cristalline;* c'est la *roche sédimentaire* qui est *striée.* On aperçoit fort nettement cet effet dans quelques carrières où s'exploite le *granit* ou l'*eurite,* qui alternent avec le *schiste grauwacke;* alors de larges surfaces de schiste étant mises à nu, on voit qu'elles sont grossièrement *striées,* comme si les masses granitiques, lors de leur apparition, eussent glissé dessus pendant que les schistes étaient encore à l'état de pâte molle[2]. L'illusion est telle que ces surfaces ressemblent à une *argile plastique* qui aurait reçu fraîchement des *moulures* sous forme de *stries rectilignes,* par le frottement d'un corps dur contre la pâte.

Polis et stries de Schlitten (traîneaux).

Nous ne devons pas oublier non plus de dire en passant que les *roues des voitures,* et surtout les *sabots* que l'on introduit sous la roue à la descente, ont la propriété de strier fort nettement les roches. Il y a encore un autre véhicule, employé dans les pays de montagnes pour le transport des bois, qui donne lieu, sur les roches, à des *stries rectilignes* fort nettes. Ce véhicule est connu en Alsace sous le nom de *Schlitten;* c'est un *traîneau* en bois sur lequel on charge les bûches coupées à la longueur d'un mètre. Ce traîneau, conduit par des hommes, circule sur un chemin à pente douce, construit pour cet objet seulement sur le flanc des montagnes, avec des traverses horizontales en bois, espacées les unes des autres de 30 à 40 centimètres. Lorsque le traîneau frotte les roches en place, il les use et les couvre de *stries rectilignes*, tout aussi bien que pourrait le faire un glacier[3].

Il est moins difficile de se tromper lorsque c'est une roche grani-

[1] **MM. Élie de Beaumont** et **Agassiz.**

[2] D. A. *Polis de strates* (*Gangspiegel*), qui fort souvent représentent un poli miroir.

[3] Nous avons eu l'occasion, mon ami **Dollfus-Ausset** et moi, en parcourant les Vosges, de recueillir des échantillons de *roches polies* et *striées* par les *Schlitten*, qui

tique qui se présente à l'observateur, les *roches cristallines* n'ayant, en général, dans leur état normal, ni surfaces *lisses* ou *polies* ni larges feuillets bien prononcés; celles qui ont été soumises au travail *erratique* se distinguent par un *poli* tout particulier; les cristaux de *feldspath*, de *quartz*, de *mica*, qui les composent d'ordinaire, sont coupés nets au même niveau. Lorsque ces roches sont usées et moutonnées par un courant d'eau, le poli en est tout différent, et il n'est jamais accompagné de *stries rectilignes*[1].

A la suite des roches, je ne dois pas omettre de faire mention d'une espèce de *galets striés* dont l'origine n'est *point erratique*. Voici le fait qui a donné lieu à cette observation.

Éboulement de terrain. Roches et galets striés.

Le 26 janvier 1846, à la suite de plusieurs jours de pluies abondantes, un éboulement de terrain eut lieu sur une des pentes des montagnes de la rive droite de la vallée de *Saint-Amarin*, en face de l'église du village d'*Oderen*. L'éboulement prit naissance à 250 mètres environ au-dessus du niveau de la vallée, dans une dépression du sol qu'on qualifie, dans les pays de montagnes, du nom de *couloir*; ce couloir a la forme d'un triangle isocèle, dont le sommet est au point où l'éboulement a commencé, et la base au niveau de la vallée. La pente moyenne du couloir est de 28 à 30 degrés; elle est un peu plus abrupte au sommet qu'à la base. Un petit filet d'eau, dans les temps de pluie seulement, donne lieu à de petites cascades le long du couloir.

ressemblent si bien aux *roches striées par les glaciers*, qu'il faut un œil exercé pour les distinguer. (D. A. Ces stries sont tellement trompeuses et ressemblent si bien à certaines stries glaciaires, que l'œil exercé, même armé d'une loupe, ne saurait porter un jugement définitif. Glaciéristes, soyez sur vos gardes partout où a passé le *Schlitten!*)

[1] J'ai dans ma collection une roche intéressante sous le rapport du travail de frottement qu'un glacier exerce sur les roches cristallines. C'est un granit du bord méridional du *glacier de l'Aar*, recueilli sur une muraille presque verticale; par les portions qui s'en sont détachées antérieurement, elle présentait, en 1844, une surface fraîche avec toutes les rugosités naturelles à l'action érosive du glacier Il a exercé son *frottement* pendant un an sur un pan de cette muraille, puis on en a détaché un exemplaire. L'année suivante, par conséquent après deux ans de frottement, on en a détaché de nouveau un exemplaire. En comparant ces deux morceaux, qui sont loin encore d'avoir acquis le poli parfait, on peut cependant juger du travail opéré par la nature dans cet espace de temps.

D. A. Sur la rive gauche du glacier inférieur de l'Aar, exposition au sud, l'ablation de la glace est forte en été, et la roche envahie par le glacier du mois d'octobre jusqu'au mois de mai est souvent remise à nu par les fontes en août et septembre.

Les matériaux entraînés par l'éboulement se composaient d'une grande quantité de *blocs de granit*, dont aucun n'arrivait à un mètre cube; puis d'une masse considérable de *blocs moyens* et de *galets de granit*, et de *grauwacke* à pâte fine, matériaux d'ailleurs de même nature que ceux qui forment la montagne même; puis ces *blocs* et ces *galets* étaient accompagnés d'une masse épaisse de *boue* plus ou moins fine. Ces éléments se sont détachés de la partie supérieure sous forme d'une *masse pâteuse;* au dire des habitants du village qui ont pu suivre les phases du phénomène, elle est descendue de la montagne avec une certaine lenteur. Les personnes qui se trouvaient dans une chaumière, sur le bord du trajet parcouru, ont eu le temps de commencer un déménagement avant de fuir.

Deux jours après l'événement, je me rendis sur les lieux pour en examiner le résultat. Dans les méplats du terrain, la *boue* n'avait pas encore pris de consistance; on y enfonçait comme dans la vase d'un marais. En examinant les différents matériaux répandus sur le sol, je reconnus que les *galets de schiste argileux bleu* étaient en grand nombre *rayés* sur toutes leurs faces. Mais, à la différence des galets d'origine *glaciale*, ils étaient plutôt *raclés* que *striés;* ils étaient couverts d'une infinité de *raclures* courtes, grossières, fort différentes des *stries* fines, délicates, longues et croisées, qui caractérisent les *galets erratiques*.

Deux galets de même espèce de roche, dont l'un d'*origine d'éboulement* et l'autre d'*origine glaciale*, mis en présence, se distinguent à la première vue par la différence du dessin et de la gravure.

Ce fait est très-simple; cependant il n'est pas inutile de le signaler à l'attention des observateurs; beaucoup de personnes ne connaissent pas encore les véritables *galets striés* (les observateurs du Nord n'en font pas mention), et les *galets rayés par un éboulement* pourraient donner lieu à une erreur [1].

[1] D. A. Toutes les roches en place, les blocs ou galets polis, striés ou rayés, que l'on observe dans les Alpes ou dans d'autres localités plus ou moins de hautes régions ne sont pas polis ou striés par des glaciers; ces roches, blocs ou galets peuvent se polir, se strier ou être rayés, sillonnés par les mêmes causes que l'éboulement cité. On comprend parfaitement qu'une moraine ancienne ou en activité peut être soumise à des éboulements partiels des roches détachées sur les hauteurs en glissant, ou courant ou sautant sur la pente, qui laisseront des marques sur la roche en place; une coulée de terrain composée de galets, sable etc., laissera des traces sur la roche en place, et les matériaux de cet éboulement pourraient, eux aussi, recevoir des polis et des stries etc.

E. C. 28. **Identité des faits observés dans les Vosges avec ceux observés dans d'autres contrées, relativement au terrain erratique.** On a vu par les faits que nous avons exposés que tous les accidents *erratiques* remarqués dans les Vosges, tels que les *moraines*, les roches *striées*, les blocs *erratiques*, les *galets rayés* etc., réunissent toutes les conditions exigées pour concourir à la démonstration du fait géologique de l'existence d'*anciens glaciers* dans ces montagnes. Comme pièce à l'appui de cette démonstration, nous citerons encore textuellement le compte rendu de la discussion qui a eu lieu à la Société géologique, dans la séance du 17 février 1845, à l'occasion d'un envoi d'échantillons de *roches striées* de différents pays que **M. Agassiz** envoyait à **M. Élie de Beaumont,** pour qu'ils fussent comparés à ceux des *Vosges* que j'envoyais de mon côté. Le *Bulletin* de la Société dit à cette occasion :

Identité du terrain erratique des Vosges avec ceux d'autres contrées.

M. Élie de Beaumont communique l'extrait suivant d'une lettre de **M. Agassiz** sur les roches striées de la Suisse :

Échantillons de roches striées des Vosges et des Alpes.

« J'ai pensé qu'il pourrait vous être agréable d'avoir une série « d'*échantillons de Suisse* à comparer avec les échantillons de *roches* « *polies des Vosges* qui vous ont été adressés par **M. Collomb.** J'ai « fait dans ma collection un choix d'exemplaires, en vue de vous « faire voir l'aspect du poli sur différentes roches, et selon que les « échantillons sont taillés *sous le glacier* même ou sur ses *flancs* en « dehors de l'action naturelle des glaces.

« Le n° 1 est un exemplaire du *portlandien poli du Landeron ;* la « forme arrondie d'un des côtés provient de ce que ce morceau a « été enlevé sur le bord d'un large *sillon.*

« N° 2. *Calcaire noir de Rosenlaui.* L'échantillon a été taillé *sous* « *le glacier même,* sa surface *polie* et *rayée* était en contact immé- « diat avec la face inférieure du glacier et la *couche de boue* qui est « intermédiaire entre la roche et la glace, et dont il est resté des « traces sur l'échantillon. L'apparence des cassures vous montre « que la surface polie coupe à peu près à angle droit les surfaces de « la structure stratifiée de la roche.

Ces cas sont rares sans doute ; mais ils peuvent arriver et arrivent. Sur la route de Meiringen au Grimsel (vallée d'Oberhasli), en amont du village im Hof, vallée im Grund, nous voyons sur la rive droite de l'Aar un grand bloc calcaire qui est parfaitement strié ; il s'est détaché dans la hauteur de roches en place, il a glissé sur la pente, et s'est strié.

« N° 3. Petit échantillon de la même localité que le n° 2, et re-
« cueilli dans la même position *sous le glacier*, au bord d'un *Karren-*
« *feld* qui lui a donné sa forme arrondie.

« N° 4. Échantillon de la même roche que les n^os^ 2 et 3, prove-
« nant de la même localité, mais taillé *au-dessus du glacier*, sur le
« flanc de la montagne, et exposé par conséquent, de temps immé-
« morial, à l'action des agents atmosphériques ; aussi est-il rare de
« trouver dans de pareilles circonstances des surfaces aussi bien
« conservées; on n'en rencontre même que sur des points abrités
« par suite de leur orientation.

« N° 5. Fragment de *serpentine schisteuse*, détaché de la roche en
« place *sous le glacier de Zermatt*. Cet échantillon se trouvait, dans
« les mêmes circonstances que le n° 2, sous le *glacier de Rosenlaui*.
« Le *poli* et les *raies* coupent aussi les surfaces qui dépendent de la
« structure de la roche. C'est le seul fragment que j'aie pu enlever
« sous le glacier même.

« N° 6. Provient aussi de *Zermatt*, mais l'échantillon a été cassé
« sur le flanc du *Riffel*, à environ 500 pieds au-dessus du *glacier*.
« C'est le même *burinage* que sur l'exemplaire n° 5; seulement la
« surface est *rougie* par l'action de l'oxygène de l'atmosphère sur
« les *éléments ferrugineux* de la roche.

« N° 7. *Granit de Wasen*, dans la *vallée de la Reuss*, détaché
« d'une grande surface polie semblable à la *Helle-Platte* au-dessus
« de la *Handeck*, dans la vallée de *Hasli*.

« N° 8. *Quartz à surface polie*, provenant d'un filon pris du *To-*
« *densee*, sur le *col du Grimsel*, *usé* au même niveau que les *sur-*
« *faces polies de granit* qu'il traverse. Je n'ai jamais pu réussir à
« détacher en même temps une partie des surfaces adjacentes de
« granit. On ne peut apprécier ce fait convenablement qu'en place.

« N° 9. *Porphyre à surface polie* du sommet du *Shehallion*, en
« *Écosse*. Dans le Nord, il y a peu de chaînes de montagnes dont le
« sommet soit élevé au-dessus de l'agent qui a *buriné* la surface des
« roches en transportant les *blocs erratiques*. Le résultat immédiat
« de cette différence entre le phénomène du nord et celui du centre
« de l'Europe est que chez nous la plupart des *blocs erratiques* sont
« *anguleux*, tandis que dans le nord, non-seulement le *galet*, mais
« même les *grands blocs*, sont *arrondis*, *polis* et *rayés*, comme chez

« nous le *petit galet des fonds de glacier*. On n'a pas assez insisté sur « ces différences, qui me paraissent essentielles, et qui, dans mon « opinion, prouvent que dans le nord les masses mobiles qui ont « occasionné le *poli* étaient plus uniformément répandues à la sur- « face du sol et n'étaient pas dominées par des pics aussi nombreux « que dans les Alpes.

« Nos 10 et 11 sont peut-être les exemplaires qui vous frapperont « le plus. Ce sont des *cailloux roulés*, tels qu'on en trouve abon- « damment dans tous nos *dépôts glaciaires, sous les glaciers*, sur les « bords et à distance, partout où se rencontrent d'anciens *polis* et « d'anciennes *moraines*. Ils accompagnent partout les *blocs erratiques*. « Le *burinage* est le même que celui des *surfaces polies* en place; « seulement, comme ces fragments étaient mobiles, leurs *raies* se « croisent plus fréquemment. Ceux qui sont les plus *arrondis* ont des « *raies* sur toutes les faces; ceux qui sont plus *aplatis* sont surtout « *rayés* sur leurs plus grandes surfaces, sur lesquelles ils ont dû « reposer plus constamment, comme le no 10 par exemple. *On ne* « *trouve jamais de pareils galets rayés dans les torrents, ni dans les* « *fleuves; j'ai même remarqué que partout où les galets rayés des* « *fonds de glaciers sont entraînés par les torrents, ils perdent bientôt* « *leur burinage pour prendre un aspect mat et uniforme*[1]. Ces *galets* « sont, à mes yeux, le caractère le plus constant et le plus incontes- « table de la présence des glaciers dans les lieux où on les trouve. « Il est fort à regretter qu'on n'y ait fait jusqu'ici que peu d'attention; « car je suis convaincu qu'à eux seuls ils peuvent servir à distinguer « les *dépôts glaciaires* des *dépôts caillouteux de transport, déplacés* « *par d'autres causes que par des glaciers*.

On ne trouve pas de galets rayés dans les torrents.

« Un fait qui vous aura sans doute frappé en comparant entre « eux ces divers échantillons, c'est l'uniformité de leur *poli* et du « *burinage* dont ils sont marqués, quelle que soit la nature minéra- « logique de la roche sur laquelle on l'observe, sur les roches de « *sédiment*, comme sur les roches *massives*. Ce fait me paraît de la « plus haute importance dans l'appréciation de la cause qui a pu « produire de pareils effets, et montre jusqu'à l'évidence que le *poli*

[1] D. A. Il en est de même des roches en place striées, touchées par les eaux des torrents : les stries s'effacent, disparaissent.

« et les *raies* n'ont rien de commun avec la structure de la roche, « comme le pensent encore quelques géologues.

Usure des roches par le battement des vagues dans les lacs.

« Le n° 12 est un échantillon du *poli* ou plutôt de l'*usure* que « produit sur les roches des bords de notre lac le *battement des* « *vagues*. L'aspect en est mat; les *sillons profonds* qui coupent les « grandes surfaces soumises à cette action sont sinueux, comme le « montre un des côtés de l'exemplaire. Jamais on ne voit sur ces « surfaces la moindre trace d'un fin *burinage* ou de *raies*, pas plus « que sur le *galet roulé* qui les recouvre.

« Peut-être que cette petite collection intéresserait les géologues « français qui ont suivi les débats auxquels a donné lieu la *question* « *des glaciers*, sans avoir eux-mêmes occasion d'observer les faits « de la discussion.....

« A la suite de la précieuse collection que **M. Agassiz** lui a fait « l'amitié de lui confier et qu'il met sous les yeux de la Société, « **M. Élie de Beaumont** met également sous les yeux de la So- « ciété plusieurs beaux échantillons de *schiste argileux* durs ou de « *grauwacke* très-fine, *à surface usée et striée*, qui lui ont été adres- « sés de *Wesserling* (Haut-Rhin) par **M. Ed. Collomb.** Ces échan- « tillons proviennent du *Glattstein*, dans la vallée de *Saint-Amarin*, « au pied des ballons des *Vosges*. Leur surface présente les mêmes « caractères, le même genre de *burinage* que les échantillons de la « *Suisse*, de l'*Écosse*, de la *Suède*, de l'*Amérique du Nord* etc.

« En signalant ces caractères à l'attention de la Société, **M. Élie** « **de Beaumont** se plaît à rappeler qu'il a toujours saisi avec « empressement les occasions d'appeler l'attention des géologues « sur le curieux et important phénomène des *surfaces polies* et *striées*. « C'est dans ce but qu'il a mis sous les yeux de l'Académie des « sciences, dans sa séance du 23 avril 1838, un fragment *poli* et « *strié* de *porphyre d'Elfdolen*, en *Suède*, qui lui avait été envoyé « par **M. Berzelius,** ainsi qu'un fragment de *calcaire jurassique* « également *poli* et *strié*, détaché d'une surface *polie* très-étendue, « que **M. Agassiz** lui avait fait observer, au mois de juillet précé- « dent, au *Landeron*, près du *lac de Neufchâtel*. C'est également « dans ce but que, dans la séance du 17 janvier 1842, il a encore « mis sous les yeux de l'Académie une grande plaque de *schiste ar-* « *gileux poli* et *striée*, recueillie aux environs de *Boston* (Massa-

« chussets) par **M. le docteur Jackson,** ainsi qu'un fragment « de *granit* provenant des belles *surfaces polies* qui forment les flancs « de la vallée de l'*Aar*, entre l'*hospice du Grimsel* et la *Handeck* « (Helle-Platte), fragment recueilli par lui-même le 20 août 1838. « Depuis 1838 ces échantillons ont figuré maintes fois dans les le- « çons de **M. Élie de Beaumont,** qui en a même fait faire des « moules en plâtre dont il a distribué des exemplaires. Il sera heu- « reux d'y joindre à l'avenir les échantillons que **M. Agassiz** vou- « drait bien lui laisser, de même que ceux du *Glattstein*[1]. »

Identité des roches striées des Vosges et de celles de la Suisse, de l'Amérique, de la Suède, de l'Écosse etc.

Ainsi donc voilà un fait constaté, c'est-à-dire que les *roches striées des Vosges* sont identiques à celles de la *Suisse*, de la *Suède*, de l'*Amérique du Nord* etc., que ces échantillons aient été pris *sous le glacier même*, comme le n° 2 de **M. Agassiz,** ou comme le n° 9 *au sommet du Shehallion*, en *Écosse*, il y a identité quant à la nature du burin qui a produit les stries.

Identité des autres accidents propres aux terrains erratiques.

Quant aux autres accidents propres au *terrain erratique*, nous ferons remarquer que la même similitude existe sur tous les points. Si nous passons d'abord aux *galets striés*, nous ne citerons pas la Société géologique, parce qu'elle n'a eu que rarement l'occasion de s'en occuper, mais nous citerons **M. Agassiz** lui-même, qui a visité avec **M. Desor** les dépôts erratiques de la vallée de *Saint-Amarin* en mars 1846 et qui a été frappé de la prodigieuse quantité de *galets striés* qu'on rencontre sur la *moraine de Wesserling*, sur celle de *Schliffels*, sur les dépôts d'*Oderen* etc., *galets* de toutes les formes et de toutes les dimensions, quelquefois *couverts d'incrustations de boue du glacier*[1]. **M. Agassiz** a reconnu une identité parfaite entre ces galets et ceux qu'on recueille sous les *glaciers en activité*.

MM. Agassiz et Desor. Courses dans les Vosges.

Quant aux *moraines*, **MM. Agassiz et Desor** n'ont pas éprouvé la moindre hésitation, en voyant la *moraine de Wesserling*, sa position transversale et isolée, nettement dessinée, et la nature des matériaux qui la composent, à lui attribuer une *origine glaciale*. La même observation s'applique à la *moraine de la vallée d'Urbès*, à

[1] *Bulletin de la Société géologique*, 2e série, t. II, p. 273.

[1] Une collection de beaux exemplaires de ces galets, et aussi des morceaux choisis de la roche du Glattstein et de celle du Hasenbühl, a été envoyée à Neufchâtel pour les collections du musée de cette ville.

celle de Schliffels, à *celle de Krüth*, qui sont tout aussi bien ac cusées.

Relativement aux *blocs erratiques* et à leur distribution sur le te rain, puis à la forme générale de son relief, aux marais, au lacs etc., même observation de la part de **MM. Agassiz et Deso**

Terrain erratique des Vosges identique à celui des autres contrées.

On peut donc considérer le terrain erratique des Vosges comme ide tique à celui des autres contrées.

Il y a même pour le géologue voyageur un avantage en faveu des *Vosges;* c'est qu'ici tous les accidents que nous venons d'énu mérer, en prenant une vallée pour type, se trouvent réunis dan un cercle dont le rayon ne s'étend pas au delà d'une dizaine de kil mètres; il n'est pas nécessaire de parcourir une grande distanc pour voir des faits qui sont connexes et qui se lient entre eux; ce faits sont clairs et patents, faciles à saisir et à observer; quelle qu soit l'opinion du géologue observateur sur l'origine et la cause d phénomène, en visitant nos vallées, il pourra, sur une petit échelle, à la vérité, faire une étude à peu près complète du terrai erratique.

E. C. 29. **Comment le phénomène erratique a-t-il cess d'exister? Par une révolution brusque? Par une révo lution lente[1]?**

Le phénomène erratique a cessé par une révolution lente.

Comme document pour servir à l'histoire des révolutions que l terre a subies, il est intéressant de savoir si les *anciens glaciers de Vosges* ont disparu de la surface du sol par un prompt retour d l'atmosphère à une température plus douce, ou par une fusion lente et graduelle embrassant une longue succession de siècles Nous disons l'*atmosphère*, parce que l'élément nutritif des glaciers leur existence, en un mot, est soumise au milieu dans lequel il vivent; ils sont liés intimement aux influences climatériques. Quel ques degrés de plus ou de moins dans la température moyenne d l'air *qui enveloppe un glacier* suffisent pour modifier son existenc d'une manière profonde[2], et tous les observateurs s'accordent

[1] J'ai traité ce même sujet dans une correspondance avec **M. de Charpentier**, co respondance qui a été ensuite imprimée dans la *Bibliothèque universelle de Genève*, d cembre 1845.

[2] Les chutes de neige, les matériaux qui couvrent la surface du glacier et les temp ratures et rayons solaires de juin à septembre ont la plus grande influence sur l glaciers.

dire que la température propre de la terre, la température du sol, est sans influence sensible sur leur état physiologique, si l'on peut s'exprimer ainsi [1].

C'est donc dans le milieu ambiant, dans sa température, dans son état hygrométrique, qu'il faut chercher la cause et l'origine des glaciers. Pour savoir comment ils ont cessé d'exister, nous nous livrerons à un examen scrupuleux des débris qu'ils ont laissés sur place, et c'est particulièrement de considérations tirées de la position relative des *moraines frontales* que nous pourrons arriver à jeter quelque lumière sur cette question. La manière dont les *blocs erratiques sont dispersés* sur le terrain nous aidera aussi à la résoudre.

Moraines échelonnées. Moraine frontale triple à Wesserling.

Ainsi, dans la *vallée de Saint-Amarin*, nous trouvons à *Wesserling* une *énorme moraine frontale triple*, qui barre la vallée dans un sens transversal, puis dans la même vallée, à 5 kilomètres en amont, à Krüth, une nouvelle moraine frontale disposée dans le même sens.

Massevaux.

Dans la *vallée de Massevaux*, nous avons vu un premier degré de l'échelle au village de *Kirchberg;* sur ce point la *moraine* s'étend tout au travers d'un bord de la vallée à l'autre. Le second degré est situé au village de *Dolleren*, à 3 kilomètres en amont.

Moraines à Giromagny

Dans la *vallée de Giromagny*, même échelonnement des moraines: *moraine frontale à Giromagny* et second échelon à quelques kilomètres en amont.

Moraines frontales échelonnées sur le revers occidental des Vosges.

Sur le *revers occidental des Vosges*, toutes les vallées explorées par **M. Hogard**, la *vallée de Cleurie*, celle de *Lispach* etc., ont une série de *moraines frontales* échelonnées à quelques kilomètres de distance les unes des autres.

Maintenant, si nous remontons à l'origine du fait, nous remarquerons que les *glaciers en activité* peuvent être pourvus de plusieurs *moraines médianes* et de plusieurs *moraines latérales*, mais ils n'ont jamais qu'une *seule moraine frontale*. Qu'arriverait-il si un *glacier en activité* venait à mourir subitement par une cause quelconque? Le cadavre qu'il laisserait sur place se composerait de

[1] D. A. La température du sol a une influence sur les glaciers. Voy. les paragraphes D. A. *Glaciers en activité.*

tous les matériaux dont son dos était chargé, des *moraines latérales et médianes*, mais on ne trouverait à coup sûr qu'*une seule moraine frontale* comme monument de son passage sur la terre [1].

Si donc nous trouvons une série de *moraines frontales* échelonnées sur le même terrain, dans la même vallée, sur le sol qui a porté le même glacier, nous sommes en droit de conclure que la fusion de ce glacier s'est opérée d'une manière lente et intermittente, qui exclut toute idée de grande débâcle et surtout de révolution subite dans les éléments géologiques ou climatériques.

Reportons-nous par la pensée à l'époque où la vallée de *Saint-Amarin*, par exemple, était encombrée de glaces. Le glacier descendait sur un plan incliné de 0m,01 jusqu'à *Wesserling* [2]; il avait une longueur totale de 12 kilomètres; son activité a été d'une bien longue durée, puisqu'il a eu le temps d'accumuler sur ce point 18 millions de mètres cubes de matériaux. Puis un adoucissement dans la température étant survenu, le glacier s'est fondu en partie; il s'est retiré à 5 kilomètres plus haut, à *Krüth*. Ensuite un retour de froid ayant surgi, il a été arrêté dans sa marche rétrograde, il y a eu un temps d'arrêt et même mouvement locomotif en avant. Pendant ce travail, la *moraine supérieure de Krüth s'est formée*, et l'établissement de cet amas a dû exiger, en temps absolu, une longue succession de siècles, à en juger par le nombre et le volume des matériaux restés en place. Ensuite un retour définitif à une température plus douce étant survenu, le glacier a tout à fait disparu de la vallée.

Périodes pendant lesquelles les glaciers ont existé dans les Vosges.

E. C. 29. **Périodes pendant lesquelles les glaciers ont existé dans les Vosges.**

Période (de froid), qui correspond à l'établissement des moraines inférieures.

Période (moins froide), fusion partielle des glaces.

Seconde période (de froid), établissement des moraines supérieures.

Période actuelle, fusion complète [3].

[1] D. A. Nous trouverons de plus là *moraine profonde*.

[2] D. A. A une certaine époque, qui était postérieure à celle des *glaciers monstres au maximum*.

[3] D. A. Moraines profondes et latérales.

Les *petites moraines* qui barrent les *vallées latérales d'Urbès*, de *Mollau*, de *Schliffels*, peuvent nous donner aussi quelques indications sur la manière dont le phénomène a cessé d'exister. La *moraine de Schliffels* en particulier est à 150 mètres plus élevée que celle de *Wesserling*. La température moyenne de cette localité est certainement de quelques degrés plus basse; on ne possède pas d'observations directes à cet égard; néanmoins on peut voir par la flore de ce petit bassin qu'il participe déjà du climat de la montagne. Cette moraine devait former la *tête d'un petit glacier*, quand les points de la vallée de *Saint-Amarin*, situés à 150 mètres plus bas, ne devaient plus être encombrés de glace.

La *moraine de Mollau*, par sa position, peut aussi nous donner un argument en faveur de la lente disparition des glaces. Elle est fort reculée, elle est perdue au fond d'une petite vallée; quand elle s'est formée, le *glacier de Mollau*, qui s'étendait primitivement[1] sur une ligne de 4 kilomètres de longueur, ligne où l'on en retrouve partout des traces, était réduit par la fusion à tout au plus 1000 mètres. Un retour de grand froid l'a arrêté dans sa retraite, il lui a fait prendre une allure agressive, et la *moraine* s'est formée dans un endroit resserré, exposé au nord. C'est peut-être, relativement à l'époque de formation, la dernière en date de toutes les *moraines voisines*.

Si une prompte débâcle était arrivée à cette époque, cette moraine n'existerait pas; les matériaux dont elle est formée sont si mobiles qu'ils eussent été entraînés par les eaux.

Une autre preuve de la lente disparition et de l'intermittence du phénomène peut encore se déduire de la disposition des *blocs erratiques* en plusieurs lignes horizontales et parallèles sur le flanc des montagnes. Si la fusion des glaces eût été prompte et continue, les blocs n'auraient pas pu se déposer sous forme d'amas horizontaux: ils seraient uniformément disséminés sur les pentes encaissantes. Si l'on réfléchit à la lenteur extrême du moyen de transport mis en activité par les glaces, on ne peut se refuser à croire que ces lignes qui se remarquent à une certaine hauteur, et qui forment pour ainsi dire un *bourrelet de blocs*, annoncent que la mer de glace a séjourné

[1] A une certaine époque.

pendant un laps de temps fort long au même niveau, temps pendant lequel elle a déposé tous ces matériaux sur son littoral. Et si nous apercevons *plusieurs bourrelets de blocs échelonnés* les uns au-dessus des autres sur les pentes des montagnes, il est bien clair que le phénomène n'a point cessé d'exister par une révolution brusque, mais par un retour lent et intermittent à une température plus douce[1].

Galets rayés.

E. C. 30. **Galets rayés.** Qu'est-ce que les galets rayés? Pour répondre à cette question, nous n'avons qu'à consulter notre correspondance, et nous y trouverons une lettre de **M. Agassiz**, qui nous en donne un définition fort claire.

« Partout où j'ai rencontré les *dépôts glaciaires,* » dit **M. Agassiz**, « j'y ai trouvé un grand nombre de *galets arrondis*, *polis* et *rayés* « comme les *rochers polies en place*, avec cette seule différence que « les *galets* qui étaient mobiles *entre le glacier et la roche en place,* « offrent des *raies croisées* dans tous les sens. On en trouve de semblables sous tous les *glaciers actuels, mais jamais dans les torrents,* ni « *sur les rivages de nos lacs,* où le *galet* est battu par la vague. Ce caractère est, à mes yeux, le guide le plus sûr pour distinguer les « *terrains glaciaires* des dépôts de cailloux transportés par des courants d'eau.

On ne trouve jamais de galets rayés dans les lacs ou dans les dépôts de cailloux transportés par des courants d'eaux.

« Un fait curieux à l'appui de cette distinction, c'est que les *galets rayés qui sont entraînés par les torrents des glaciers, perdent « leur burinage à peu de distance de leur origine, pour prendre l'aspect mat et uni des galets de transport aqueux.* »

Les galets rayés transportés par les torrents des glaciers perdent leur burinage.

[1] D. A. Les circonstances météorologiques ont une influence très-grande sur l'existence des glaciers. Mais nous savons parfaitement que les circonstances météorologiques ne se traduisent pas uniquement par la température (de saison ou d'années) : il faut tenir compte des vents, de l'hygrométrie, des chutes d'eau et de neige, grésil, grêle etc., des condensations et évaporations. Les glaciers pourront rester stationnaires, augmenter (croître, s'étendre), diminuer (décroître, se retirer) par des périodes froides, moins froides, ou chaudes. Les chutes de neige de l'automne, de l'hiver et du printemps, et même les chutes de neige de l'été (à 2000 mètres d'altitude, il tombe de la neige en été ; au mois d'août 1846, au Pavillon de l'Aar, il est tombé 60 centimètres de hauteur de neige en 24 heures) ont une très-grande influence. Les glaciers couverts de neige ne subissent pas d'ablation. Les matériaux (moraines en activité) qui se trouvent sur le dos du glacier préservèrent en grande partie la surface d'ablation. On peut même admettre qu'à des époques données les glaciers des Vosges mêmes pouvaient avoir été couverts d'une quantité de neiges telle que le glacier n'a pas subi d'ablation pendant un grand nombre d'années. Voy. *Glaciers en activité.* D. A.

M. Agassiz pose les principes, il nous démontre la loi générale de la *formation de ces galets ;* toutefois il ne faut pas perdre de vue que cette loi est sujette à un certain nombre d'exceptions. Ainsi dans le phénomène de la production des *galets striés*, nous prendrons en considération la nature de la roche dont ils sont formés et aussi la nature de la roche qui encaisse un glacier. Si le galet est d'une *roche tendre* et qu'il se trouve, pendant son mouvement, en contact avec une roche *également tendre et friable,* il ne sera point *rayé*.

Si, d'un autre côté, le *galet* provient d'une *roche dure*, comme le *granit*, et que dans son mouvement de translation par les glaces, avec pression et avec toutes les circonstances favorables, il ne rencontre sur le trajet parcouru que des roches *aussi dures* que lui, il ne sera *pas rayé*, il sera simplement *usé* et *poli*. En recherchant le *galet strié* dans le *terrain erratique*, on en recueillera, ou on n'en recueillera pas, suivant la *qualité des roches* qui existent dans le bassin.

Dans les *débris géologiques du glacier inférieur de l'Aar*, *les galets striés sont fort rares*, parce que la roche en place de tout le bassin supérieur n'est composée que de *granit*, de *gneiss* et de différentes espèces de *mica-schiste*. Cette dernière roche, qui forme souvent des amas considérables de matériaux pas plus gros que des *galets ordinaires*, entraînés et poussés par le *glacier*, n'est pas de nature à recevoir des *empreintes striées;* cette roche est *trop tendre*, *trop friable*, elle n'a pas le degré de consistance nécessaire pour conserver un *burinage* quelconque.

Parmi les *débris erratiques* provenant *du glacier du Rhône* (j'entends ceux qui sont immédiatement au pied de son *talus terminal* actuel, et non pas ceux qui ont été poussés à de grandes distances, et qui appartiennent au *glacier du Rhône antéhistorique*), les *galets striés* sont excessivement rares, parce que les parois de ce bassin sont presque en entier de formation *granitique*. *Granit sur granit ne se raie point, il s'use, il se polit.*

Au *glacier de Rosenlaui*, les *galets striés* sont, au contraire, excessivement abondants, et l'on peut y recueillir des types variés de l'espèce, parce que le *calcaire noir* compacte des Alpes forme la charpente des montagnes supérieures; il est entraîné par le *glacier*, ses débris sont en contact pendant leur période de mouvement avec des

roches plus dures, des *granits*, des *quartz* etc., et ce *calcaire* se trouve précisément dans des conditions de dureté nécessaire pour recevoir et conserver des *stries* et des *burinages* tels que **M. Agassiz** les décrit.

Ainsi donc, pour que le *galet se couvre de stries*, il faut nécessairement admettre dans le terrain *erratique* l'existence simultanée des *deux roches* d'un *degré de dureté différent*, l'une faisant l'*office de burin*, et l'autre assez tendre pour *recevoir l'empreinte*.

Dans celles des *vallées des Vosges* qui sont toutes *granitiques*, les *galets erratiques* sont *arrondis*, *usés*, quelquefois *plats* et *anguleux*, mais on n'y aperçoit *point de stries*. Dans les vallées où la *roche de sédiment* compose toute la masse des montagnes, on *ne rencontre également pas de cette espèce de galets*.

La vallée de *Saint-Amarin* et les vallons latéraux sont dans une position qui réunit toutes les conditions nécessaires pour que le *galet strié* s'y soit produit dans les *temps erratiques*. Le terrain est formé de *roches schistoïdes sédimentaires*, en couches relevées presque verticalement. Cette roche se rapproche de l'*ardoise* par son grain et par la superposition de ses feuillets, elle passe parfois à une roche jaune ayant l'aspect et la consistance de la pierre à rasoir ; ailleurs c'est une *grauwacke* fort dure, à cassure brillante. Toutes ces *roches stratifiées* sont traversées par des masses considérables de *roches cristallines* de différentes espèces, par du *granit à gros grains*, *du granit à grain fin*, soit blanc, gris, rosé, gris bleu, puis par du *granit porphyroïde*, du *porphyre* rose, rouge, des *eurites*, des *mélaphyres*, des *pegmatites ;* toutes ces roches sont coupées d'innombrables filons, où la famille *des silicides* se rencontre sous mille formes diverses.

On conçoit que de pareils matériaux, lorsqu'ils ont été déplacés et mis en mouvement, par la *force locomotive d'un glacier*, lorsqu'ils ont été *empâtés* dans sa masse, ou lorsqu'ils ont servi de *roulettes sous le glacier*, ont dû exercer les uns sur les autres une action érosive, qui a donné lieu à ces masses considérables de détritus, où les *galets striés* sont si abondamment répandus.

Ceux que je recueille sur les anciennes *moraines frontales* ou *latérales* des vallées des *Vosges*, sont exactement pareils à ceux que j'ai recueillis dans les débris des *glaciers en activité* de la Suisse.

Quoique la roche ne soit pas de même espèce, pourvu qu'elle ait le même degré de résistance, de ténacité, le *trait de burin* dont ces pierres sont *sillonnées*, est tout à fait *identique*[1].

Expérience directe pour prouver que les raies des galets sont détruites par le mouvement et le frottement amenés par un courant d'eau et de graviers.

E. G. 31. Pour m'assurer, par une expérience directe, si effectivement les *raies dont ces galets sont sillonnés, ont été détruites par le mouvement et le frottement, amenés par un courant d'eau et de graviers*, j'ai essayé de produire artificiellement une petite rivière, et de soumettre à son action un certain nombre de ces cailloux. Cette expérience est rapportée dans les *Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences* dans les termes suivants :

« Une cinquantaine de *galets rayés*, de *roche schisteuse* bleue, assez dure, recueillis sur la *moraine de Wesserling*, ont été mis dans « un grand cylindre horizontal, creux, en fonte, de 1m,30 de longueur, sur 50 centimètres de diamètre, fermé aux extrémités par « deux disques en fonte et tournant sur son axe. Ces *galets* ont été « préalablement mélangés avec un volume égal de sable de rivière « et vingt-cinq litres d'eau; puis on a imprimé au cylindre un mouvement lent de quinze tours par minute seulement.

[1] **M. Agassiz** a pu aussi comparer les *galets striés des Vosges* avec ceux de provenance *helvétique*. Je lui avais, dans ce but, envoyé une collection recueillie aux environs de *Wesserling*, dans la vallée de *Saint-Amarin*. Il me répondit : « Je viens de « recevoir l'envoi de *cailloux roulés* que vous m'avez adressés. Rien ne pouvait m'être « plus agréable que de retrouver sur ces galets tous les caractères distinctifs des *accu- « mulations de débris glaciaires*, tels que je les ai signalés, il y a bientôt cinq ans, après « les avoir trouvés constamment les mêmes dans les *Alpes*, dans le *Jura* et dans les « *îles Britanniques*.

« *Aucun de vos échantillons n'est douteux.*

« J'ajouterai que, à de très-petites distances des *glaciers*, lorsque ces *galets*, sortis « *rayés* de dessous les glaces, sont entraînés par les torrents, ils perdent bien vite leur « *burinage* ; on ne trouve nulle part dans les torrents des Alpes des *galets rayés*, pas « plus qu'au pied de nos *cascades* ni sur les bords de nos *lacs*. D'où je conclus que par- « tout où l'on trouve des galets rayés on a affaire à des accumulations de *débris gla- « ciaires* qui n'ont point été remaniés depuis leur déposition par les *glaciers*; ce qui « nous prouve aussi, d'un autre côté, que le phénomène des *grands glaciers* est le der- « nier phénomène géologique de quelque importance qui ait travaillé la surface du globe.

« ... Assurez-vous bien qu'on n'en trouve pas de semblables (des *galets rayés*) dans vos « ruisseaux et qu'ils sont propres aux *dépôts moraniques*, afin que vous puissiez insister « pour votre localité sur l'importance que j'ai attachée à ce caractère, qui se confirme « partout d'une manière si éclatante. »

« Ce mouvement de rotation, en agitant les *galets*, le *sable* et l'*eau* « dans tous les sens, imite l'action produite dans la nature par le « frottement de ces cailloux les uns contre les autres dans un *cou-* « *rant de rivière.*

« Après six heures de mouvement on en a retiré quelques-uns: « les *stries* les plus délicates avaient déjà disparu, il restait encore « la trace des *raies* plus profondément dessinées.

« Après vingt heures de mouvement les *stries ont complétement* « *disparu*, il n'en reste pas trace sur les *galets*, qui ont pris l'*aspect* « *mat* des galets de rivière.

« Un exemplaire de ces *galets*, partagé avant l'expérience en deux « parties, dont l'une a été soumise au frottement et l'autre conser- « vée à part, représente très-bien, lorsqu'on réunit les deux mor- « ceaux après l'expérience, l'action produite par le mouvement[1]. »

Pendant le cours de cette expérience, l'eau que j'avais mêlée aux galets et au sable n'est point restée limpide; le frottement de ces corps les uns contre les autres, en détachant des parcelles de matières excessivement fines, a rendu l'eau d'abord trouble, puis, vers la fin de l'expérience, cet eau est devenue *tout à fait boueuse*. Le sable employé dans cette circonstance, était un sable de rivière imparfaitement lavé, composé d'une infinité de fragments de *quartz*, de *feldspath* et de *mica*, résultant de la décomposition des *granits*.

Si un courant d'eau et de boue, chargé de fragments de *quartz* eût été capable de rayer la pierre schisteuse, toutes les condi tions étaient réunies dans cette expérience. Et l'on vient de voi que le résultat a été négatif sous ce rapport, et positif relativemen à la manière de voir de **M. Agassiz**.

Ces *galets* appartiennent donc bien véritablement aux *dépôts gla ciaires;* hors des limites de ces dépôts, hors des *frontières du ter rain erratique* on n'en trouvera plus.

Dans les Vosges nous avons vu qu'ils sont fort abondammen répandus, particulièrement dans la vallée de *Saint-Amarin*. Dan celle de *Massevaux* et de *Giromagny* ils se trouvent aussi, mai

[1] *Comptes rendus*, t. XX, p. 1718. Extrait d'une lettre de **M. Édouard Collomb** à **M. Élie de Beaumont**.

moins abondants. Dans les vallées du versant occidental, **gard**, qui le premier a décrit les *accidents erratiques* de ntrée, n'en fait pas mention. Ces galets doivent y être fort parce que la chaîne des montagnes de ce côté est presque tière de formation granitique [1].

En aval de la pente terminale du glacier inférieur de l'Aar (1800 mètres alti- s l'Aarboden, en amont du premier pont en bois, rive gauche, nous voyons rt une roche en place (granit très-dur à grains fins) parfaitement polie et striée. **gard** et moi, nous avons fait enlever, en 1846, les matériaux qui s'appuyaient , des galets et du sable, et nous avons reconnu que les stries ne s'y trouvent e le poli est mat. En 1859, j'ai examiné cette même paroi de roche, qui avait te de nouveau par le torrent : les stries avaient disparu, et le poli était mat hauteur de 50 centimètres, hauteur que le torrent avait atteinte. Toute la Suisse spécimens de ce fait acquis : les torrents effacent les stries rayées et rendent le

IÉNOMÈNES ERRATIQUES DANS LES VOSGES.

SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DE FRANCE.

Réunion extraordinaire à Épinal (Vosges)[1] *du 10 au 23 septembre 1847.*

S. G. F. Les membres qui ont assisté à la réunion sont :

MM. Acosta.	MM. Four.	MM. Merian (Pierre).
Bauja.	Gastaldi.	Michelin (Ard.).
Billy (de).	Guibal.	Parandier.
Blanchet.	Hogard.	Puton (Ernest).
Clément-Mullet.	Jourdan.	Renoir.
Collomb.	Lesaing.	Rouville (Paul de).
Cornuel.	Levallois.	Royer (Ernest).
Delesse.	Lory.	Vaultrin.
Desoudin.	Maire.	Zuber (Jean).
Dollfus-Ausset.	Martins (Ch.).	

Ont pris part aux travaux en s'unissant à ces membres dans leurs courses et leurs explorations scientifiques :

MM. Alexandre.	MM. Gahon.	MM. Moyon (Benito).
Ballon.	Grillot.	Perreau.
Berher.	Haxo.	Perrey.
Biche.	Idoux (l'abbé).	Petitmongin.
Bienaymé.	Jacquel (l'abbé).	Pion.
Carrière.	Lahérard (fils).	Prévotel (Vict.).
Claudel.	Laurent.	Rappin.
Collin.	Leroy.	Ruaulx.
Collenne.	Mareine.	Schimper.
Danu.	Martinet.	Sonrel.
Deblaye.	Mathieu.	Tocquaine.
Didiergeorges.	Maud'heux.	Thoillier.
Dollfus (Gustave).	Mougeot (père).	Vancker.
Durand (Léon).	Mougeot (fils).	
Dutac.	Moynier (Eug.).	

Sont nommés :

Président, M. H. Hogard ; *vice-président*, M. E. Puton ; *secrétaires*, MM. Delesse et E. Collomb.

[1] *Bulletin de la Société géologique de France.* S. G. F., paragraphes extraits par Dollfus-Ausset.

S. G. F. 1. Après avoir quitté *Épinal*, la société a remonté le cours de la *Moselle* jusqu'à *Jarménil*, et a pu remarquer le développement considérable qu'ont pris dans cette vallée les *terrains de comblement* qui se présentent sous forme de nappe horizontale, où la Moselle, en serpentant d'une rive à l'autre, s'est creusé un large lit à berges escarpées d'environ 10 mètres de hauteur.

Au *Tholy*, la société a exploré avec attention la *grande moraine frontale* décrite par **M. Hogard** (1842).

Cette moraine forme quatre grandes ondulations; elle barrait complétement la vallée; elle s'élève à 100 mètres moyennement au-dessus du ruisseau; elle a été coupée par les eaux; les fragments de la rive gauche et ceux de la rive droite se correspondent exactement. Sur le premier pli du terrain, en amont, on remarque peu de *blocs à la surface;* mais sur la seconde ondulation les *blocs sont répandus* sur toute l'arête dorsale à grande profusion : tous sont *anguleux*, beaucoup de ces blocs ont plusieurs mètres cubes, et la société a pu en remarquer un entre autres dont le volume a été estimé de 100 à 120 mètres cubes.

En aval du *Tholy*, sur la route de *Remiremont*, la Société a remarqué à *Saint-Amé* une nouvelle *série de moraines frontales* appartenant au même ancien glacier. Elle a vu que ces moraines, inférieures aux précédentes, et déjà placées à une grande distance de l'origine du glacier (à 30 kilomètres des sommets du Hoheneck), sont presque en entier formées d'une *accumulation considérable de sable fin*, avec très-peu de fragments volumineux.

Ce sable provient en grande partie de la décomposition du grès vosgien. *Cette moraine de Saint-Amé* présente encore un fait remarquable : les sables qui la composent offrent sur leur tranche verticale des traces de stratification grossière; les couches sont inclinées en amont et en aval sur un plan parallèle à la surface de la moraine; mais ces couches ne sont pas très-nettement accusées: elles sont un peu confuses, comme elles pourraient l'être dans un amas de remblais produit par la main de l'homme.

S. G. F. 2. **Le val d'Ajol**[1]. En quittant *Remiremont*, par la route de Plombières, la première station de la société a été sur les

[1] *Description du val d'Ajol*, 1844, 1845. *Annales de la Société d'émulation des Vosges.*

moraines d'Olichamp, décrites par **M. Hogard** en 1842, ensuite par **M. E. Royer** (*Bulletin*, t. IV, p. 288). Ces *moraines*, de plusieurs kilomètres de longueur, ont donné lieu à une discussion entre plusieurs membres. **MM. Ch. Martins, Hogard** et **Collomb** pensent que ces *moraines* peuvent provenir des débris de la *moraine latérale* gauche du grand *glacier de la Moselle*, déposés sur ce point à une époque où ce glacier s'étendait à 4 kilomètres en aval de *Remiremont*.

M. E. Royer a communiqué à la Société la note suivante, relative à de nouvelles observations qu'il a faites sur les moraines d'*Olichamp*.

Moraine d'Olichamp.

Depuis la communication que j'ai faite dans la séance du 7 décembre 1846, il n'y a plus de doute possible sur l'existence d'un *grand glacier* remplissant tout le bassin supérieur de la *Moselle*, et c'est lui, ou plutôt un de ses rameaux, qui a produit la *moraine d'Olichamp*.

Moraines du Tholy, Saint-Amé, Rupt, lac de Fondromé, Grande-Courrue, Lispach.

L'existence de ce grand glacier peut cependant paraître incompatible avec celle de glaciers moindres qui auraient produit les *moraines du Tholy*, de *Saint-Amé*, de *Rupt*, du *lac de Fondromé*, de la *Grande-Courrue*, de *Lispach* etc.; mais il faut observer que ce grand glacier, depuis sa plus grande extension jusqu'à sa disparition, a dû passer par plusieurs périodes de décroissance, et on peut notamment en indiquer trois.

Première époque.

La *première époque* est celle où le glacier, occupant un immense espace, et s'élevant à une hauteur considérable, couvrait comme une nappe toutes les vallées et les sommets principaux qui environnent le *bassin de la Moselle*, où l'on retrouve la preuve de sa présence dans le terrain de transport et les blocs erratiques si nombreux qu'il y a laissés. Ces matériaux étaient puisés par lui dans quelques prés isolés restés émergés, et dans les plateaux de la crête centrale qui le dominaient. Son immense extension et le peu d'étendue du terrain qui lui fournissait ces débris, comparativement à sa propre diminution, doivent faire croire que les moraines de cette époque étaient peu importantes, ou plutôt moins bien caractérisées quant à la forme que dans les époques suivantes.

Seconde époque.

La *seconde* serait celle où, ayant déjà perdu de ses dimensions colossales, le glacier était contenu dans les vallées, et limité par les

montagnes qui les flanquent ; sa branche principale s'étendait alors très-probablement jusqu'au delà de *Remiremont*, vers *Épinal*. C'est l'époque où il poussait des rameaux dans les vallées voisines au sud-ouest par les cols qui n'étaient point trop élevés, notamment par celui d'*Olichamp*.

Troisième époque.

La *troisième* enfin serait celle où le glacier n'occupait plus que le fonds des vallées, ou plutôt où il s'était divisé en autant de glaciers partiels qu'il y avait de vallées affluentes ; c'est plus ou moins tôt dans cette dernière période que se sont formées les *moraines* de *Saint-Amé*, du *Tholy*, de *Rupt*, de *Fondromé*, de *Lispach*, de la *Grande-Courrue* et autres. Le fonds de la vallée de la *Moselle*, aux environs de *Remiremont*, était alors déjà débarrassé des glaces, et les moraines qu'y avait déposées le glacier commençaient à être remaniées par les eaux. Telle est, je crois, l'explication simple et analytique de ce grand et important phénomène dans cette partie des *Vosges*, phénomène auquel des études détaillées vont, je ne puis en douter, donner la consistance d'un fait désormais consacré dans la science.

M. Ch. Martins répond à **M. Royer** que le phénomène des *moraines* et des *blocs erratiques* déposés sur l'arête d'un col se rencontre fréquemment dans les Alpes ; il cite un fait analogue près de *Mégève*, sur le col qui sépare la vallée de l'*Aroc* de celle de l'*Isère*.

Vargottes. Blocs erratiques.

A la croix de *Vargottes*, point situé sur le col qui sépare le val d'*Ajol* de la vallée de la *Moselle*, la Société a remarqué *des blocs erratiques* de granit provenant des environs du *lac de Fondromé*, à plusieurs kilomètres en amont, et qui reposent ici sur les assises supérieures du grès vosgien. — **M. Hogard** a signalé la position de ces blocs dans son *Mémoire sur le val d'Ajol*[1] ; il rappelle que, pour parvenir au point où ils se trouvent aujourd'hui, ils ont dû franchir en ligne droite les vallons des *Mourots*, du *Gravier*, de la *Divière*, et les vallées du *Gihard* et d'*Hérival*, puis les montagnes qui séparent ces dépressions, et dont les flancs sont moyennement inclinés de 25 à 30 degrés. L'examen d'un profil relevé suivant cette direction fait comprendre qu'on ne saurait s'arrêter un seul instant à l'hypothèse d'un transport par les eaux. En effet, de la côte

[1] 1841-1845, p. 78.

moyenne du point de départ, un bloc entraîné, après être descendu dans le fond de plusieurs vallons très-profonds, se serait relevé à la côte 710 mètres au *Girmont d'Ornous*, serait redescendu etc. jusqu'à ce profil.

Roches moutonnées et striées.

S. G. F. 3. **M. Ch. Martins** rend compte à la Société des observations recueillies dans ses courses du 15.

Le mercredi, 15, la Société s'est rendue à *Rupt*, dans la propriété de M. Forel, où elle a reconnu la roche moutonnée et striée décrite par **M. Hogard.** Les membres de la Société qui ont eu l'occasion de voir les roches striées des environs du Grimsel, en Suisse, ont été frappés de l'identité parfaite qui existe entre ces deux manifestations du même phénomène.

De *Rupt* la Société s'est rendue au *lac de Fondromé*, lac barré par une ancienne moraine semi-circulaire, comme une haute digue qui en retient les eaux. Un large créneau donne issue au ruisseau actuel. Ce lac et cette moraine ont été l'objet d'un travail de **M. Hogard** (1840-1842).

Grande moraine terminale de l'ancien glacier de la Moselle.

S. G. F. 4. **M. Collomb,** secrétaire, résume à son tour les observations recueillies dans la journée.

Le 16, une pluie diluvienne n'a pas permis à la Société de faire des courses un peu longues, cependant quelques membres se sont transportés à 4 kilomètres en aval de *Remiremont*, sur la route d'*Épinal*, pour examiner la *grande moraine terminale* de l'*ancien glacier de la Moselle*. Cette moraine correspond à l'époque de la plus grande extension des anciens glaciers; elle est située à 40 kilomètres des sommets du *Hoheneck* et du *Drumont*, qui envoyaient les matériaux arrachés de leurs flancs jusqu'au *talus terminal*, à *Longuet*, comme nous venons de le dire, à 4 kilomètres en aval de *Remiremont*. *Cette moraine barre la vallée transversalement* sur une ligne de 200 mètres environ; elle forme une série d'*ondulations*, de petits *monticules* allongés, dont l'axe principal est perpendiculaire à l'axe de la vallée de la *Moselle;* elle a 80 mètres de hauteur verticale au-dessus du lit de la *Moselle*. Les matériaux accumulés sur ce point sont entassés *sans ordre*, sans *triage*, selon le volume; les *sables*, les *graviers* et les *gros blocs* sont confondus dans le même mas. Les blocs et les galets sont presque tous *arrondis* et *usés;* cependant quelques-uns d'entre eux ont conservé la *vivacité de leurs*

angles. Quant à la nature pétrographique des matériaux, on trouve sur cette moraine des échantillons nombreux des roches qui font partie du bassin supérieur. Néanmoins **MM. Ch. Martins, Hogard** et **Collomb** ont fait remarquer que les roches provenant des points les plus éloignés de ce bassin, les schistes de *Bussang* et les syénites du *Ballon*, manquent, ou du moins y sont fort rares. Cette absence de roches qui devraient se trouver sur la moraine terminale inférieure du grand glacier, d'après les lois connues du mouvement des matériaux à la surface d'une mer de glace, n'est pas une exception particulière à la moraine dont il est question; elle se remarque sur presque toutes les moraines inférieures des grandes vallées des *Vosges*. Ce fait s'explique en admettant qu'à une époque de *grande extension les glaces n'encombraient pas seulement le fond des vallées, mais qu'elles couvraient tous les sommets élevés de la chaîne*. Si les glaces formaient une calotte par-dessus tous les ballons[1], il est évident que les moraines superficielles devaient être à peu près nulles[2]. Dans l'état actuel des choses, sur les principaux glaciers des hautes régions de la Suisse, on en remarque quelques-uns dont la surface est presque en entier couverte de débris de roches, qui s'allongent, s'étalent et se tassent vers les talus terminaux. Ces glaciers sont dominés par des pics abruptes de 1000 mètres d'élévation, et quelquefois au delà; ces pics sont en général formés de roches granitiques ou schisteuses, qui se détachent en fragments et se séparent facilement de la masse principale. C'est ainsi que les moraines superficielles se trouvent abondamment pourvus de matériaux.

Glacier monstre.

Mais si, par hypothèse, nous supprimons les pics abruptes, et que nous les remplacions par un système de montagnes aux formes arrondies et moutonnées, par les ballons des Vosges, et que, par-

[1] L'hypothèse d'une calotte de glace couvrant les points culminants d'une chaîne n'est pas si loin de la réalité qu'on pourrait le supposer; il existe dans les Alpes des exemples pareils. En 1844, **MM. Desor** et **Dollfus** ayant entrepris l'ascension du Galenstock, pic situé en amont du glacier du Rhône, éprouvèrent les plus grandes difficultés pour arriver au sommet; le pic supérieur était en entier couvert de glace, non point de neve durci, mais de véritable glace de glaciers.

[2] D. A. Les glaciers monstres (époque maxima d'extension) couvraient toutes les roches et tous les pics, et ne portant à cette époque point de matériaux sur leur dos, ils ne pouvaient pas en déposer.

dessus ces ballons, *nous construisions une calotte de glace correspondant à une époque de grande extension de nos anciens glaciers*, nous aurons pour résultat d'un système pareil des moraines superficielles tout à fait nulles à l'origine du glacier; elles ne commenceront à se montrer à la surface qu'à la distance de plusieurs kilomètres en aval, et elles ne seront alimentées que par les matériaux arrachés par le glacier sur son fond et sur ses flancs; les débris provenant des points culminants de la chaîne seront rares sur les *moraines frontales* inférieures. Ainsi s'explique l'absence de fragments de syénite du ballon, et de schistes de Bussang, qu'on remarque parmi les débris de roches de la *moraine de Longuet*.

Une autre conséquence à tirer de cette extension des anciens glaciers par-dessus les sommets élevés de la chaîne des Vosges, et du mode d'alimentation des moraines superficielles à cette époque, est relative à la *forme des matériaux*. Sur la *moraine de Longuet* presque tous les débris sont *arrondis* et *usés*, les blocs d'un fort échantillon manquent, ceux mêmes mesurant un mètre cube y sont rares, et ceux dont les angles ont conservé leur vivacité y sont distribués avec parcimonie. La grande masse des débris se compose de sable et de galets quartzeux, provenant de la désagrégation des roches cristallines, et surtout du grès vosgien. Si l'on compare cette moraine avec celles en activité de la Suisse, qui sont formées presque en entier de matériaux anguleux, on est frappé de la différence, et l'on serait tenté de donner à nos moraines vosgiennes une origine diluvienne. — Mais si l'on prend en considération le moyen de transport employé par la nature; si, avant d'arriver au point de débarquement où nous les retrouvons aujourd'hui, ces débris ont effectué leur voyage en partie *emprisonnés dans l'intérieur des masses de glace*, et ensuite seulement à la surface du glacier, on comprendra que, pendant toute la première période, ils auront été broyés et usés, et qu'ils n'arriveront au terme de leur course que réduits à l'état de sable, ou fortement écornés et usés [1].

Absence de galets rayés.

Un autre caractère négatif de cette moraine, et qu'il n'est pas inutile de signaler, parce qu'il s'applique à la plupart des dépôts erratiques du versant occidental des Vosges, consiste dans l'*absence*

[1] D. A. Les matériaux qui se trouvent sur le dos des glaciers et ceux qui forment moraine latérale n'y restent pas à poste fixe. Voy. *Glaciers en activité*, paragraphes D. A.

Conclusions. Glaciaristes et diluvionnistes.

S. G. F. 6. **M. Hogard**, tout en provoquant une discussion à l'égard des moraines, pour engager la société à se prononcer d nitivement sur l'origine qu'il leur attribue, cite l'opinion de **M. Billy** qui pense que dans quelques-unes des accumulations pla en aval du lac de Gérardmer, il a cru reconnaître plutôt l'ac des eaux que celle des anciens glaciers (*Annales de la société mulation des Vosges*). **M. Hogard** demande à **M. de Billy** que sont dans les Vosges les moraines sur lesquelles ses observati portent le plus particulièrement.

M. de Billy répond qu'il a examiné avec attention les *blocs er tiques disséminés* sur toute la ligne orientale du Jura, et les raines décrites par **M. Collomb** dans la vallée de *Saint-Am* (Haut-Rhin) ; qu'il serait disposé à attribuer leur mode de transp et de dépôt à l'existence d'anciens glaciers ; toutefois il a aussi é miné certains dépôts du versant occidental des *Vosges*, dépôts d l'origine lui paraît problématique. **M. de Billy** croit devoir se r ger à l'opinion d'esprits éminents qui doutent encore. — **M. vallois** ajoute qu'il ne pense pas que la question puisse se déci dans une course rapide dans les Vosges ; il ne la trouve pas s fisamment approfondie pour qu'on puisse lui appliquer une sol tion immédiate.

M. Hogard ne croit pas devoir insister, *l'hypothèse du diluvi de Gérardmer, ressemblant parfois aux moraines, ayant pu être p pour ces dernières*, paraissant une question jugée. Mais cepend il ne peut se dispenser de faire remarquer à la Société :

1° Que le premier il a décrit et figuré les moraines de la val de *Gérardmer ;*

2° Que ces moraines ont ensuite été visitées et reconnues par vers géologues ;

3° Que les expressions employées pour rendre compte des rés tats des observations récentes de **M. de Billy** dans les Vosges s fort précises, et que, tandis qu'aujourd'hui il déclare que le mom de se prononcer définitivement n'est pas encore venu, on lui a dire formellement, dans le passage cité des *Annales*, que nos m raines sont des *dépôts de diluvium ;*

4° Que les points où la prétendue confusion introduite dans séparation des dépôts formés par les eaux courantes et de ceux f

més par suite de l'action des glaciers n'étant nullement indiqués, il n'y a pas lieu de s'arrêter à des observations critiques dont on n'a pas trouvé moyen de faire application sur les lieux.

Quant au diluvium, **M. Hogard** pense que si l'on parvenait à constater sa présence dans la vallée de *Gérardmer*, en dehors des faibles nappes de terrain de comblement des anciens lacs de la contrée, ce serait un fait aussi curieux qu'extraordinaire; mais qu'on ne parviendra certainement pas à l'établir, quand même, en renonçant à l'hypothèse d'une action subite des eaux, on se résignerait à n'admettre que de faibles cours d'eau, exhaussant lentement et successivement leurs lits. Comment expliquer l'action lente d'un cours d'eau quelconque, se créant, de distance en distance au travers des vallées, des barrages de quelques kilomètres de longueur, de 100 mètres moyennement d'épaisseur, et sur 400, 500 ou même 800 mètres de largeur; plaçant sur les crêtes de ces barrages, composés principalement de sable et de gravier, et sans les démolir, ainsi que sur les flancs des montagnes, d'énormes blocs anguleux, de 10, 20, 50 et 100 mètres de roches arrachées aux sommités fermant le bassin, et à 12, 15, 20 kilomètres et plus, des points d'où ils ont été extraits? Comment en même temps expliquer le nivellement des matières transportées entre les divers barrages; et surtout transportées du *Hoheneck* au *Tholy*, en franchissant, sans s'y arrêter, *les lacs de Retournemer, de Longemer et de Gérardmer* (pour ne citer que les lacs existant encore, et qui sont demeurés comme pour faire comprendre *l'insuffisance de la théorie du transport des masses erratiques et détritus glaciaires, par les eaux courantes*) [1]?

S. G. F. 7. **Lac de Gérardmer. M. Ch. Martins** donne à la Société des détails sur une particularité intéressante du lac de Gérardmer. Ce lac, d'environ 2000 mètres de longueur, présente, dans son régime, un fait singulier et rare en orographie. La pente générale de la vallée, nivelée avec soin par **M. Hogard**, devrait porter les eaux dans le bassin inférieur de la *Moselle*, en Lac de Gérardmer.

[1] D. A. Les glaciers en activité transportent sur leur dos avec la même facilité et la même vitesse des grains de sable réduits à l'état de poussière et des blocs monstres. Voy. *Glaciers en activité*, paragraphes D. A. Mais voyez surtout dans les Alpes bernoises le glacier supérieur du Grindelwald. Adressez-lui des questions, il vous répondra et vous baptisera *glaciariste*. Voyez ses confrères : tous ont les mêmes allures.

passant par le *Belliard*, le *Tholy* et la vallée de *Cleurie*. Mais un obstacle infranchissable se présente en aval du lac, cet obstacle c'est la grande moraine frontale de *Gérardmer ;* elle s'oppose à ce que les eaux suivent leur cours naturel, et comme il faut qu'elles passent quelque part, leur écoulement se fait à contrepente; c'est en amont qu'elles s'échappent pour gagner un point peu éloigné du *saut des Cuves*, et s'engouffrer au nord-ouest dans l'étroite gorge de la *Vologne*.

Vallée de Saint-Amarin.

S. G. F. 8. **Vallée de Saint-Amarin.** Le 19, le temps s'est remis au beau et la Société a pu examiner en détail les phénomènes remarquables que cette vallée présente relativement aux traces d'anciens glaciers. Les moraines désignées par M. Collomb sous le nom de *moraines par obstacle* ont été d'abord l'objet de l'attention de la Société.

Moraine par obstacle.

Moraines par obstacle. La pente moyenne du sol de la vallée nivelée de Thann à Wildenstein, sur les indications de la carte du dépôt de la guerre, n'est que de 0,009. Cette vallée présente en outre un accident orographique qui a donné lieu à l'existence des *moraines par obstacle*. Ce sont des *îlots*[1] de roche en place qui percent le sol, s'élèvent sous une forme qu'on pourrait rapporter à celle d'un cône tronqué, à la hauteur de 20, 50 à 180 mètres. Ces îlots sont placés au fond de la vallée, sur sa ligne médiane, complétement indépendants des parois des montagnes encaissantes. On en remarque quatre principaux :

1° Celui qui porte l'ancien *château de Wildenstein*, de 180 mètres de hauteur;

2° Celui du Bærenberg d'environ 80 mètres;

3° Celui sur lequel est bâtie l'église du village d'*Oderen*;

4° Le monticule désigné dans le pays sous le nom de *Marlen*.

Tous ces îlots sont situés en amont de *Wesserling* dans la partie haute de la vallée.

Ilot de Wildenstein.

Le premier que la Société a eu l'occasion de visiter est celui de *Wildenstein;* c'est un petit massif de granit porphyroïde, dont le plan figure une ellipse allongée dans un sens parallèle au cours de

[1] D. A. Dans les Alpes bernoises, dans l'Aarboden, en aval du glacier de l'Aar, nous voyons des îlots pareils, que nos guides appellent *Nolle* ou *Knolle*, *Grimselnolle* etc.

la *Thur*. En aval, et sur ses flancs, ce rocher présente des escarpements à pente rapide; en amont, il s'abaisse par une pente douce jusqu'au niveau du sol. La face de ce solide tournée en amont est couverte, à la hauteur d'une trentaine de mètres, d'une masse considérable de débris, de blocs empâtés, de sable, de graviers, en un mot de tous les matériaux qui forment ordinairement les *moraines*. Toutefois **M. Ch. Martins** fait observer que ce rocher ne peut pas être considéré comme une moraine *par obstacle type*, par la raison que, si l'on poursuit les débris déposés contre ce roc, on trouve qu'ils continuent à se montrer à droite et à gauche dans le fond de la vallée, et que ce point correspond à une ancienne *moraine frontale*. Le glacier a stationné longtemps sur cette ligne, il venait butter contre le rocher, il y déposait ses matériaux, et en même temps il les déposait aussi dans la partie plate de la vallée, dans les deux couloirs qui séparent le rocher des montagnes encaissantes.

Ilot de l'église d'Oderen.

A quelques kilomètres en aval, la Société a remarqué une autre *moraine par obstacle* sur laquelle quelques détails sont nécessaires, parce qu'elle peut servir de type pour l'étude de ce genre de phénomènes. Elle mérite d'autant plus de fixer l'attention des observateurs qu'il existe peu de vallées, soit dans les *Vosges*, soit dans les *Alpes*, où l'on trouve avec le terrain erratique des accidents orographiques tels que nos *îlots* de roche en place, aussi bien accusés que dans la *vallée de Saint-Amarin*.

La moraine par obstacle dont il est question est celle sur laquelle est bâtie l'église du village d'*Oderen*. Le plan de l'*îlot* a, comme le précédent, la forme d'une ellipse, mais son grand axe est tourné dans un sens différent; il est perpendiculaire à l'axe principal de la vallée; il n'a guère plus de 20 à 25 mètres de hauteur verticale, et 200 mètres de diamètre. En aval, le rocher est escarpé et dénudé; il a conservé toutes les aspérités naturelles à la roche. En amont, la position est différente; il est revêtu d'une masse épaisse de débris, de sable, de graviers, de blocs métriques qui percent le sol, ou qui sont complétement empâtés. Sur la rive droite de cette moraine on remarque des amas de terre rougeâtre argileuse très-fine, entremêlée de blocs de granit de 50 à 60 centimètres de diamètre; on y trouve aussi des *galets rayés*. Sur cette même rive, la *Thur* vient battre ce rocher; elle a entamé l'amas de débris à la hauteur de

quelques mètres seulement; ceux qui résistent au torrent sont suspendus légèrement, la moindre force suffit pour les désagréger. Lorsqu'un bloc est à moitié empâté, on peut facilement le faire rouler dans le torrent en dégageant un petit caillou faisant coin.

La limite de ces débris est circonscrite au rocher même; dans la partie plate de la vallée, qui fait suite à l'axe de l'*îlot*, on ne trouve aucune trace de débris erratiques : ce sont des prairies, des maisons, des champs cultivés sur un terrain de comblement à surface horizontale.

Nous trouvons donc contre ce rocher, et *en amont*, un revêtement de détritus qui renferme tous les éléments des moraines, y compris les *galets rayés* et la *boue du glacier*, qui s'y trouve représentée par la terre argileuse; puis l'extrême mobilité des matériaux, qui ne permet pas d'admettre que les courants d'eau soient intervenus d'une façon quelconque dans l'établissement de cet amas, puisque le courant de la Thur, qui passe auprès du rocher, détruit la *moraine* lorsqu'il peut l'atteindre.

L'obstacle placé au milieu de la vallée a servi de point de débarquement aux débris pierreux *transportés par le glacier*. Il n'a pas séjourné sur l'*îlot*, autrement la moraine participerait de la forme des *moraines frontales*, et se prolongerait dans la vallée pour joindre le pied des montagnes encaissantes.

M. Ch. Martins a signalé ce fait remarquable à l'attention de la Société : il pense que, dans l'état actuel de nos connaissances sur le *mouvement des glaciers*, nous ne possédons pas un nombre suffisant de faits sur lesquels on puisse s'appuyer pour donner une explication satisfaisante du mode de formation des moraines par obstacle. Il pense que l'étude plus approfondie des phénomènes qui se passent au Jardin de la mer de glace de Chamonix pourrait seule jeter quelque lumière sur ce sujet[1].

Moraines frontales.

Moraines frontales. Dans la vallée de *Saint-Amarin*, la Société a encore remarqué deux *moraines frontales* complétement indépendantes des obstacles dont nous venons de parler. La première en amont est celle de *Krüth*, sur laquelle la Société s'est arrêtée, et où quelques membres ont pu recueillir un certain nombre de *galets*

[1] D. A. Il est difficile, mais certes pas impossible, de trouver des glaciers en activité dans les conditions d'encaissement qui présentent des îlots (*Nolle*).

rayés, galets possédant tous les caractères décrits par **M. Agassiz.** C'est la première des moraines visitées par la Société, sur laquelle des débris de schistes argileux de transition commencent à se montrer; ils existent en place, sur la rive gauche de la vallée, en amont. La *moraine de Krüth est triple.* Le *premier pli* du terrain en amont décrit une courbe, se prolongeant d'un bord à l'autre de la vallée, mais dont la hauteur verticale ne dépasse pas 12 à 15 mètres. Le *second pli* est parallèle au premier, à la distance d'une centaine de mètres; puis le *troisième mouvement du terrain* s'écarte de la parallèle, il se prolonge au sud, jusqu'en face de la petite vallée de *Saint-Nicolas*, vallée qui débouche à angle droit dans le grand couloir principal.

Galets rayés.

Moraines de Wesserling. A *Wesserling*, la Société a été reçue par **M. Collomb,** dont l'habitation est bâtie sur la moraine même. *Cette moraine a été remarquée depuis longtemps et décrite par* **M. Le Blanc.** C'est la première dans les *Vosges* qui ait été l'objet de l'attention des géologues. Sa position est nette et bien dessinée; elle forme un barrage transversal dont le point culminant est à 35 mètres au-dessus du lit de la rivière. Elle est en entier composée des débris des roches du bassin supérieur; on y reconnaît des fragments de granit blanc provenant des environs du *Rothenbach*, des granits porphyroïdes rouges du *col du Bramont*, des granits communs de *Krüth* sur la rive droite de la vallée; des euphotides d'*Oderen et de Schliffels,* des eurites porphyroïdes de l'affluent d'*Urbès*, puis toutes les roches de transition du groupe de la grauwacke, qui gisent de préférence sur la rive gauche de la vallée.

Moraines de Wesserling.

Ces matériaux sont distribués sans ordre selon le volume, sauf quelques couches informes de sable qu'on a exploitées pour les constructions. La plupart des gros blocs qui couvraient autrefois la moraine ont été exploités; il en reste cependant encore un certain nombre sur le dernier pli du terrain en aval; l'un d'entre eux mesure 15 mètres cubes. La majorité d'entre eux sont *arrondis et usés*, quelques-uns cependant ont conservé toute la *vivacité de leurs angles;* et si les cryptogames n'étaient venus s'emparer de leur surface, on les dirait arrachés tout récemment des flancs de la montagne.Cette moraine est coupée par les eaux de la *Thur;* une large échancrure donne passage aux eaux; les fragments de moraines qui

tenant beaucoup de grands cristaux de labrador verdâtres qui prennent une légère teinte rougeâtre par l'altération; ce mélaphyre est en place sur le revers.

La Société observe ensuite la roche appelée par Voltz *Roche serpentineuse du ballon*. Elle est formée d'un mélange de serpentine noble vert clair, et de parties quartzeuses blanchâtres; dans certaines parties le quartz est bien visible et forme même d'assez gros filons; dans d'autres, au contraire, il est mélangé d'une manière intime avec la roche, qui est grenue, mais qui fait feu sous le marteau.

Au *Chantoisot*, avant d'arriver au *Puix*, la Société a rencontré une variété de mélaphyre qui est brèchiforme; le labrador y forme de petits cristaux verdâtres mal définis, et l'on n'y observe que rarement de petits grains d'augite; il présente une teinte générale vert foncé, et les fragments brèchiformes qu'on y observe dans certaines parties ont même couleur et même composition que la pâte.

La Société, après avoir visité la mine de cuivre du *Fainitorne*, près de *Giromagny*, fait une excursion sur l'*Ordon-Verrier*, au pied de laquelle est pratiquée la galerie de la mine, et elle observe en place d'autres variétés de mélaphyre qui sont caractérisées de la manière la plus nette. Les cristaux de feldspath labrador, qui sont mâclés, ont quelquefois un centimètre de longueur, et l'on y trouve assez souvent des cristaux d'augite noir. La pâte est généralement verte, mais elle présente cependant toutes les nuances depuis le vert noirâtre jusqu'au violet clair, et les grands cristaux de labrador s'observent surtout dans les variétés brèchiformes du mélaphyre.

M. de Billy appelle l'attention de la Société sur la manière dont le terrain de transition métamorphique se trouve disposé par rapport à la syénite du massif des ballons.

Dans la région occidentale et centrale du groupe, le terrain de transition serait à la base des montagnes; il est dominé par la syénite, qui constitue les deux *ballons de Servance* et de *Giromagny*, le *Kleinlangenberg* etc. Tandis qu'au sud-est, et surtout au nord-est, la syénite pénètre dans le fond des vallées comme au haut de la vallée de *Giromagny*, dans celle de *Massevaux* en amont de *Sewen*, comme auprès des petits lacs de *Sternensee* et de *Neuweyer*; ou

bien elle forme des collines surbaissées semblables à celle qui sépare les vallons de *Rimbach* et de *Harmsbach*.

Dans cette dernière région, c'est la syénite qui est dominée par les roches de transition, et les couches déchirées de ce dernier constituent une portion d'enceinte dont les bords éraillés des assises supérieures forment le couronnement, enceinte dont *Harben* est à peu près le centre.

En d'autres termes, dans la région centrale et occidentale du groupe des ballons, la roche soulevante a produit son effet d'une manière complète, et elle constitue des protubérances arrondies dont le pied est recouvert par les débris des couches qu'elle a traversées de part en part.

Dans la région nord-est, les assises ont été soulevées aussi ; elles ont été rompues, mais seulement traversées partiellement par la roche soulevante, qui, au lieu d'atteindre le niveau le plus élevé, se montre au fond d'une espèce de cratère de soulèvement, où la section irrégulière des couches fracturées constitue les parois internes.

Syénite du ballon d'Alsace.

M. Delesse communique le mémoire suivant sur la *syénite du ballon d'Alsace* (voir les *Annales des Mines*, 1848, t. XIII, p. 667. Mémoire sur la constitution minéralogique et chimique des roches des Vosges. — Syénite du ballon d'Alsace).

Terrains erratiques de Bussang par le ballon à Giromagny.

S. G. F. 10. **M. Charles Martins** rend compte à la Société des observations faites dans la journée sur les *terrains erratiques*. En sortant de *Bussang* par la route de *Saint-Maurice* et du *Ballon*, la Société a traversé une des plus grandes *moraines frontales* qui existent dans les Vosges. Elle a plusieurs kilomètres de longueur ; elle est formée par une suite de mamelons arrondis et allongés, qui s'étendent dans le fond de la vallée de la *Moselle*, depuis le village de *Bussang* jusqu'un peu en amont de *Saint-Maurice*. Ces monticules s'élèvent à une soixantaine de mètres au-dessus du lit de la *Moselle*.

M. Martins a fait observer que sur la rive droite, contre la montagne, la *moraine devenant latérale*, a donné lieu à l'existence d'un certain nombre de *terrasses parallèles*, de grandes marches d'escaliers superposées les unes au-dessus des autres, suivant des plans horizontaux, disposition qui porte **M. Martins** à croire que l'eau les a postérieurement remaniées.

Ballon d'Alsace.

Le ballon d'Alsace.

A *Saint-Maurice* la Société a quitté la vallée de la *Moselle* pour gravir le ballon d'*Alsace*.

Blocs déplacés.

Blocs déplacés. Près du sommet du ballon, sur son revers nord-ouest, on a remarqué des amas de blocs métriques gisant épars sur le sol, *blocs de syénite à grands cristaux de feldspath rosé*, de qualité identique avec la roche qui constitue le massif du ballon. Ces blocs ne sont plus à leur place primitive : ils en ont été arrachés et transportés à une petite distance ; ils ne paraissent pas avoir roulé d'un point supérieur ; ils sont sur une espèce de plateau, trop près du sommet pour qu'on puisse admettre cette supposition ; ils ne proviennent pas non plus de roche délitée. Ces amas de blocs, dans les régions supérieures des Vosges, ont été remarqués par **M. Collomb**, aux alentours du sommet du *Hoheneck* et sur d'autres points élevés de la chaîne. On les a également signalés dans la Forêt-Noire, où il en existe de véritables champs, très-voisins des points culminants. Les Allemands les ont désignés sous le nom de *Teufelsmühlen*. Nous proposerons de les indiquer sous le nom de *blocs sporadiques*, pour les distinguer de ceux qui sont véritablement erratiques et qui ont cheminé sur le dos des glaciers.

Blocs sporadiques (Teufelsmühlen).

Résumé.

Résumé. Dans sa course de dix jours dans les Vosges, course qui n'a pas toujours été favorisée par le beau temps, la Société a eu l'occasion de voir, dans toutes les vallées qui rayonnent autour du système, des *accidents erratiques variés et nombreux ;* des *moraines frontales*, *soit stratifiées*, *soit non stratifiées*, placées au fond des vallées, dans une position caractéristique ; des *moraines latérales* représentées par des amas considérables de blocs ou par des bourrelets, des plis horizontaux du terrain, sur le flanc des montagnes, et des *moraines par obstacle*. Puis chacun des membres de la Société prenant part aux courses a pu recueillir sur place des exemplaires concluants de *roches striées* et de *galets rayés*. La Société a pu remarquer que, dans tous ces accidents, l'eau à l'état de glace n'avait pas agi seule, mais que l'eau à l'état liquide était intervenue postérieurement, d'une manière très-énergique : 1° comme courant puissant et rapide ; 2° comme torrent, ruisseau ou ruisselet ; 3° à l'état de repos, comme lac, étang...

1° *Comme courant puissant*, l'eau est intervenue dans les terrains erratiques des Vosges, en coupant les moraines, en les démantelant, en dispersant leurs débris, en les étalant sous forme de nappe, et donnant naissance aux *terrains de comblement* qu'on rencontre dans toutes les vallées. Cette action de l'eau comme courant rapide peut encore se concevoir de deux manières : l'une de grande énergie, ayant eu lieu à une époque correspondant à une fusion partielle et accidentelle des glaciers, époque où des courants d'eau d'une puissance considérable ont entraîné les débris arrachés primitivement aux Vosges par les forces erratiques, les ont conduits au delà des limites du système et répandus dans les plaines de la Moselle, de la Meurthe, du Rhin. L'autre action est celle qui s'exerce encore de nos jours, dans des limites infiniment plus restreintes ; les cours d'eau, réduits aux proportions que nous leur connaissons, n'exercent plus sur les terrains de transport qu'une action considérablement réduite. Courant d'eau puissant.

2° *Comme torrent, ruisseau ou ruisselet.* L'eau est intervenue pendant l'époque même où les glaciers existaient dans les Vosges. Les glaciers, par leur mouvement de progression, transportaient des débris de roches sur un point donné, et en même temps des ruisseaux et ruisselets sillonnant leur surface entraînaient les graviers et les sables ; ils les réunissaient sur le même point et donnaient lieu à des *accumulations frontales stratifiées*. Cette action des petits cours d'eau circulant à la surface des glaciers a été peu observée jusqu'à présent ; l'effet qu'ils produisent de nos jours sur les glaciers en activité est peu sensible. Mais si l'on considère que, dans les anciens temps, le *grand glacier de la Moselle*, par exemple, avait 36 kilomètres de longueur, qu'il était appelé à frotter des masses où le grès vosgien et le grès bigarré entraient pour une bonne part, on comprendra que ces ruisseaux aient pu entraîner une très-grande quantité de sable. *Comme torrent*, l'eau a marqué son action pendant l'*époque glaciaire;* lorsqu'elle descendait des vallons latéraux et venait butter contre un grand glacier, elle donnait lieu à de petits lacs et à des *accumulations latérales remaniées* [1]. Ruisseau ou ruisselet.

[1] A. Dans le texte des observations on a imprimé *moraines frontales;* ce sont des accumulations qui n'ont nullement ni la forme ni le caractère des moraines déposées sur le glacier et non remaniées par les eaux.

Lac, étang, marais.

3° *Comme lac, étang, marais.* L'eau renfermée dans l'enceinte d'un bassin tranquille n'a donné lieu qu'à des effets peu sensibles sur le relief du sol. La Société a remarqué que la plupart des lacs des Vosges sont le résultat d'un barrage produit par les *moraines terminales ;* ils subsistent comme effet, mais ils n'entrent que pour une faible part dans le nombre des causes agissantes.

Disparition des anciens glaciers.

De la disparition des anciens glaciers.

Parmi les faits relatifs à l'existence des anciens glaciers, la société a remarqué dans toutes les vallées qu'elle a explorées, que les *moraines frontales* sont toutes placées dans le fond des vallées, à une certaine distance les unes des autres, par *échelons parallèles,* quelquefois très-rapprochés, d'autres fois à plusieurs kilomètres de distance, dans la même vallée, sur le terrain qui a porté le même glacier[1]. D'un autre côté, on sait que les glaciers en activité, s'ils ont plusieurs moraines superficielles, n'ont jamais qu'une seule moraine frontale, et l'on peut conclure avec toute certitude de ce fait de l'échelonnement des moraines, que les anciens glaciers des Vosges ont disparu de la surface du sol par une révolution *lente* et *intermittente* qui doit avoir embrassé un nombre considérable de siècles.

Calotte de glace.

De la calotte de glace. L'hypothèse d'une calotte de glace recouvrant tous les sommets des Vosges n'est pas encore arrivée à l'état de démonstration scientifique. Toutefois, les faits recueillis jusqu'à présent sur cette singulière époque, et qui ont passé sous les yeux de la Société, semblent justifier cette opinion. La forme arrondie et moutonnée de tout le système, la présence, dans le voisinage des sommets élevés, de champs de blocs déplacés, et l'absence, dans les moraines les plus inférieures, de matériaux provenant de ces mêmes points, sont autant de faits difficiles à expliquer si l'on rejette cette hypothèse[2].

[1] D. A. Ces moraines échelonnées plus ou moins espacées les unes des autres se voient dans les Alpes, près des glaciers, en aval dans les vallées et dans les plaines. J'ai observé des moraines semblables en Espagne, en Écosse, dans les Pyrénées, dans la Forêt-Noire, dans le Jura etc.

[2] D. A. L'absence de blocs erratiques et la présence seule de moraines profondes sont la preuve de la calotte de glace.

S. G. F. 11. Le mauvais temps n'ayant pas permis à la Société de suivre l'itinéraire qui avait été adopté, elle retourne sur ses pas par la route du *ballon de Giromagny*. De Giromagny par le ballon à Remiremont.

La séance est ouverte à huit heures dans le salon de l'Hôtel-de-Ville de Remiremont.

M. Delesse, secrétaire, rend compte de l'excursion de la journée.

Un peu avant d'arriver à la *maison Bonaparte*, la Société observe dans la syénite un filon dont l'exploitation avait été entreprise récemment par la société des mines de *Giromagny*. Ce filon, dont les allures sont très-irrégulières, avait d'abord présenté une assez grande richesse à l'affleurement; mais bientôt il s'est perdu sans qu'il ait été possible jusqu'à présent de retrouver sa trace, et à cause de la dureté de la roche encaissante, qui est la syénite, il a été abandonné. Le filon paraît se diriger à peu près nord 30 degrés est. Son pendage est considérable; il a une largeur d'environ 1 mètre.

Les minéraux qu'il présente sont le quartz, du feldspath orthose d'un rose rougeâtre, un mica noir à éclat résineux formant quelques lamelles assez rares, du sulfate de baryte, ainsi que de la chlorite pailletée. Les minerais sont la pyrite de cuivre, le cuivre gris, quelques composés cuprifères en petite quantité, qui paraissent provenir de la décomposition des premiers minerais, tels que le carbonate de cuivre, l'arséniate et l'hydrosilicate; il y a en outre du molybdène sulfuré, de la pyrite de fer blanche cristallisée en cubes, du fer oligiste etc.

A *Saint-Maurice*, la Société a consacré quelques instants à l'examen de blocs de la *syénite du ballon*, qui se laisse facilement tailler, et qui est employée pour la construction d'un pont. Syénite du ballon à Saint-Maurice.

Au *Pont-Jean*, elle a rencontré des blocs de syénite où le feldspath andésite a un tout autre aspect que dans les syénites des ballons de *Saint-Maurice* et de *Servance:* il est jaune de miel, et il passe par altération au rouge corail.

La Société, en montant aux anciennes mines du *Tillot*, a passé encore une fois sur un lambeau de terrain de transition; il est caractérisé par des schistes compactes, mais fendillés et décomposés.

Molybdène sulfuré. Aux anciennes mines, elle a recueilli des échantillons de molybdène sulfuré provenant d'exploitations entreprises autrefois sur des filons qui ont même composition et même gisement que celui du ballon. On a pu choisir aussi de beaux échantillons de feldspath orthose rose, qui accompagne le molybdène sulfuré.

Feldspath orthose rose.

Diorites. La Société a observé ensuite plusieurs variétés de diorites, sur tout le revers où se trouvent les mines du Tillot : tantôt elles sont granitoïdes, tantôt elles sont schistoïdes, tantôt elles présentent la structure orbiculaire; le plus ordinairement elles sont très-riches en amphibole hornblende, qui a une couleur verte, et l'on ne peut même reconnaître le feldspath qu'aux taches blanches qui résultent de sa décomposition à l'air : c'est ce qu'on voit surtout au Pont-Jean, où la roche semble quelquefois être presque entièrement formée d'amphibole, et mérite alors le nom d'*amphibolite*.

Amphibolite,

PHÉNOMÈNES ERRATIQUES DANS LES VOSGES.

Dépôts erratiques de la vallée de la Meuse[1].

Nappes de comblement dans les vallées de l'ouest des Vosges.

H. 1. En 1848, je n'avais encore aperçu aucune trace certaine de l'intervention des glaciers dans la formation des dépôts superficiels de la région occidentale des Vosges, où l'on rencontre des comblements anciens ou récents offrant tous les caractères de nappes d'alluvion ou de sédiment, et sur lesquels viennent s'établir les cônes de déjection formés par les ruisseaux torrentueux.

Dans le fond des vallées, les eaux continuent à augmenter graduellement la puissance de ces nappes par des additions successives de nouvelles couches de sédiment; à chaque crue elles débordent jusqu'aux talus des deux rives et déposent les détritus entraînés dans les bassins par les eaux pluviales. Ce travail incessant des cours d'eau, sur des plans inclinés dont la pente est très-faible, explique la formation de ces amas boueux renfermant quelques lits sableux et très-rarement des débris de roches, qui constituent, sans exception, la couche superficielle des *nappes de comblement* des vallées de l'ouest des Vosges.

La puissance de cette couche superficielle doit être assez considérable, à en juger d'après l'inclinaison des talus bordant les bassins; mais il n'est pas facile de la constater, et jusqu'ici je n'ai pu recueillir des renseignements assez précis pour les déterminer.

Les rivières ne sont pas assez profondément encaissées, les coupures que l'on rencontre quelquefois sur leurs rives sont trop peu élevées, et les eaux étant presque constamment, ou à peu de chose près, au niveau de la surface des nappes, il n'est pas possible de pousser des fouilles asssez loin pour reconnaître l'épaisseur du comblement alluvien et la base sur laquelle il repose; aussi, à cet égard, on ne peut aujourd'hui que former des conjectures.

[1] D. A. Extrait des publications de **M. Henri Hogard.**

Moraines profondes.

H. 2. Il est probable cependant que sous les couches boueuses superficielles existent des accumulations de galets, de *véritables moraines profondes*, dont nous allons retrouver des traces hors du département des Vosges, en suivant le cours de la *Meuse jusque dans les Ardennes*, après avoir constaté, dans une vallée supérieure, celle de Mouzon, l'existence de dépôts évidemment erratiques, dont la présence est une preuve de l'action glaciaire dans toute l'étendue de la vallée, à une époque d'extension des glaciers du système des Vosges.

Vers le mois de mai 1849, j'ai eu occasion de faire ouvrir une tranchée sur le flanc d'un coteau bordant la rive gauche du *Mouzon*, près du village de *Rebeuville*, et de mettre à découvert des rochers escarpés masqués en partie par des amas de terres et de débris provenant d'éboulements anciens. Les parois de ces rochers s'élèvent presque verticalement et forment un redan, vers le milieu du plan incliné à environ 45 degrés du coteau. Elles offrent, sur quelques points des traces évidentes d'usures et quelques *sillons*, des *karren*, résultant de l'action des eaux[1].

Amas de sables, de galets et de blocs à surfaces polies.

H. 3. Dans un pli ou sorte d'enfoncement latéral, à 15 mètres au-dessus du niveau du *Mouzon*, on a rencontré un amas de sables et de galets arrondis ou offrant des surfaces planes et parfaitement polies, le tout disposé par couches irrégulières dans l'ordre suivant, du haut en bas :

a) Blocs anguleux imparfaitement arrondis ou frottés, enveloppés d'une terre argileuse . . . . . 1 à 2 mètres.

b) Argile jaunâtre et rouge . . . . . $0^m,20$

c) Sable calcaire (ou fragments très-petits de calcaire usés et frottés) mêlé d'argile et de sable ferrugineux . . . . . $0^m,40$

d) Galets polis, arrondis et anguleux libres, ou réunis sur quelques points par un ciment ou tuf calcaire . . . . . 1 à 2 mètres.

Dans un autre pli, situé à quelques mètres de distance, on a rencontré un dépôt analogue, et le rocher formant une saillie,

[1] Ces *karren* sont de l'époque erratique et analogues à ceux des rochers de Saint-Mihiel dont il sera parlé plus loin.

entre les deux amas, offrait des *surfaces polies;* de plus, j'ai trouvé plusieurs blocs parfaitement polis, dont l'un avait plus d'un mètre cube.

Dépôt de sable, galets, lehm ferrugineux, d'ossements, de dents d'éléphants et d'ours des cavernes etc.

H. 4. Dans le courant de la campagne suivante (1850), des travaux ont été exécutés, à l'amont de *Rebeuville*, sur un éperon (*Abschwung*) que contourne le *Mouzon*, près du *moulin de Villars*, au confluent du ruisseau de *Bany*, et qui se rattache aux proéminences séparant ces deux cours d'eau. Le chemin de Circourt, franchissant cet éperon, est établi entièrement en déblai, et de chaque côté de la tranchée, dont la profondeur est d'environ trois mètres, on voit un dépôt de sables, de galets et de lehm ferrugineux renfermant des grains arrondis de fer hydroxydé, des *ossements et des dents d'éléphants*, *d'ours des cavernes* etc. etc. : dans le fond de la fouille de calcaire constituant, l'éperon est mis à découvert, et sa surface inégale offre plusieurs relèvements verticaux dans le dépôt superficiel élevé de 20 mètres moyennement au-dessus du niveau du *Mouzon*.

On remarque ici, comme à *Rebeuville*, une sorte de stratification, et quoique les galets forment des lits interrompus, renflés et irréguliers, on ne saurait douter de l'intervention de l'eau dans l'arrangement de ce dernier dépôt auquel on s'est empressé d'attribuer une origine diluvienne.

Le dépôt dont il s'agit forme une calotte au sommet d'un mamelon calcaire recouvrant des roches moutonnées, et non une accumulation remplissant une de ces fentes si communes dans la région du calcaire jurassique.

de la formation de ce dépôt.

Si l'on attribue à ce dépôt une origine diluvienne, et si l'on veut expliquer le transport et le dépôt de l'amas argileux et des fossiles qu'il renferme par l'action des eaux, il faudra rechercher les causes d'une élévation extraordinaire du *Mouzon* et du ruisseau du *Bany*, non-seulement jusqu'à 20 mètres, mais encore jusqu'à 30 mètres, puisque les débris transportés se retrouvent au delà du point que franchit le chemin en remontant le plateau ; avec cette hauteur, le courant aurait eu de 5 à 6 mètres de vitesse par seconde et, pour une section de 1800 mètres seulement, aurait débité environ 9000 mètres cubes dans le même temps. Au confluent, il aurait

éprouvé latéralement un ralentissement qui aurait permis aux galets, aux ossements et surtout au lehm, de s'arrêter sur l'éperon.

Mais les galets ne forment pas un étage distinct dans le dépôt, ils y sont interlacés en lits irréguliers et à différentes hauteurs, ils auraient donc été transportés et abandonnés sur le plateau en même temps que le lehm et sous l'influence du même courant, animé d'une vitesse suffisante pour opérer un charriage de galets et d'ossements lourds et volumineux, mais évidemment trop fort pour permettre au lehm de se déposer; les sédiments boueux ne se produisant que dans les bassins où les eaux sont stagnantes.

Les galets sont *roulés*, *usés*, *frottés et polis*. Ce sont des calcaires compactes, des *quartzites* et des *grès durs du lias*.

Les ossements n'offrent aucune trace de frottement.

Les ossements fossiles n'offrent aucune trace de frottement, et cependant ils ne sont ni à la surface ni dans une fente remplie postérieurement, mais ils sont à diverses hauteurs, et principalement vers la base du dépôt, mêlés et associés à des galets souvent agglomérés, sous forme de poudingue osseux, par un ciment ferrugineux.

Les uns et les autres, ayant été transportés et remontés à 20 mètres au-dessus du fond de la vallée, et s'étant arrêtés au sommet de l'éperon, sans tomber à ses pieds, devraient offrir les mêmes traces de chocs ou de frottements, mais il n'en est rien; et j'arrive tout naturellement à cette conclusion : que les galets et les ossements abandonnés sur le plateau de *Villars* n'ont pas été roulés jusqu'à ce gisement par des courants faibles ou violents; la parfaite conservation des uns en offre une preuve évidente, et leur présence dans des *amas de galets roulés et polis*, de roches *triturées* et *étrangères à la localité* prouve en outre qu'au moment où le dépôt s'est constitué, le mélange des matériaux dont il se compose s'est effectué lentement et dans le calme le plus complet, sans aucun mouvement de translation, conditions absolument nécessaires pour assurer la conservation la plus complète des fossiles et permettre aux galets de s'arrêter et au lehm de se déposer sur l'éperon.

On le voit donc, en admettant l'intervention d'un courant passant à 20 ou 30 mètres au-dessus du fond de la vallée, et ayant assez de force pour opérer le transport et le mélange des fossiles et des matériaux réunis sur ce point, il n'est pas possible d'expliquer les faits

observés, et l'on n'arriverait pas à une solution plus satisfaisante, si l'on revenait à l'hypothèse d'une inondation générale de la contrée; dans un lac aux eaux chargées de détritus, le lehm aurait pu certainement se déposer, et sur d'autres points où il n'en existe pas de traces aussi bien que sur l'éperon de *Villars*, et envelopper des ossements d'animaux accidentellement amenés ou détruits au confluent des deux vallées; mais évidemment les galets roulés n'auraient pu remonter jusqu'à la hauteur où ils se trouvent aujourd'hui.

H. 7. A l'égard du dépôt de *Rebeuville*, on arrivera nécessaire- Dépôt de Rebeuville.
ment aux mêmes conclusions.

Les galets y sont *usés et polis*, une surface du rocher offre des traces évidentes de *frottements;* l'étage supérieur est formé de *blocs anguleux* ou *imparfaitement arrondis*, et d'un volume assez considérable; des blocs d'un mètre cube antérieurement frottés et polis sont relevés à plus de 15 mètres au-dessus du niveau du *Mouzon*, et sous ce premier étage se trouvent des lits de sables très-fins.

Les eaux, d'abord assez calmes, auraient donc déposé sur la rive gauche de la vallée, soit contre des escarpements, soit sur un plan incliné à 45 degrés moyennement, des matériaux réduits à l'état sableux, des galets arrondis de faibles dimensions; puis en s'élevant et acquérant plus de force, elles auraient recouvert ces sables d'argiles mélangés de gros blocs, et sans détruire la base extrêmement meuble sur laquelle ces blocs reposent? Enfin, lors de leur retraite, le dépôt, qui offre des traces évidentes d'une forte compression latérale, n'aurait pas été miné à sa partie inférieure offrant si peu de consistance qu'elle glisserait et croulerait infailliblement si, pendant quelques instants, elle se trouvait, non pas exposée à l'action d'un courant qui la détruirait immédiatement, mais seulement imbibée et pénétrée par le plus mince filet d'eau.

Ces deux amas sont pour moi *deux dépôts erratiques*, ce dernier, une portion de *moraine latérale*, et celui de *Villars* un *dépôt lacustre* placé au confluent de *deux glaciers* dans un petit lac.

Dans un petit lac, des déjections boueuses ont pu s'accumuler et se mêler aux galets rejetés latéralement et principalement par le *glacier du Mouzon;* s'arrêter sur ce plateau sans déborder la ceinture de glace enveloppant le bassin; des ossements abandonnés au

pied de l'*Abschwung* ou sur les rives des glaciers ont pu y tomber et se mêler au lehm et à des galets arrivant tout façonnés, tout roulés et frottés au même point, comme cela a lieu journellement dans les lacs glaciaires, où l'on retrouvera, dans les mêmes conditions, des ossements de chamois, de marmottes, de chèvres et de moutons de l'époque actuelle.

A Rebeuville, la portion de moraine appliquée contre et dans les enfoncements des escarpements du calcaire jurassique, a pu rester en place après la disparition du glacier, des matériaux plus volumineux ont pu être rejetés sur des sables de trituration; et ce dépôt glaciaire, distribué dans un ordre inverse de celui que l'on observerait dans une déjection alluvienne, n'a pu se maintenir que parce qu'évidemment il n'a jamais été atteint par les *eaux du Mouzon*.

La présence de ces premières *traces incontestables de l'action glaciaire* dans une des vallées affluentes du bassin de la Meuse, ne pouvait manquer de me faire comprendre la nécessité de rechercher l'origine des comblements de la partie inférieure de cette grande vallée, et par quelle voie des matériaux évidemment *vosgiens* auraient été entraînés jusque dans la *Meuse* et rejetés sur diverses proéminences à partir du bassin de la *Moselle*, vers les *Ardennes*.

Dépôts de Saint-Privas, près Verdun.

H. 8. On sait que sur les bords de la *Meuse*[1] le sol contient une grande quantité de cailloux roulés de toutes grosseurs; tantôt ces cailloux sont diséminés, tantôt ils sont réunis par un *ciment peu consistant;* à cet état, ils forment des massifs de rochers qui affluent dans plusieurs localités; on rencontre ces brèches sur les hauteurs de *Saint-Privas* (près Verdun) etc.; les mêmes terrains se montrent aussi dans l'arrondissemeut de *Commercy*.

« En examinant attentivement la forme de ces fragments roulés, leur nature, on est autorisé à les reporter au système vosgien, et la parfaite ressemblance que la plupart ont avec les poudingues vosgiens, *ne permet pas de contester leur origine*.

« La présence de ces dépôts (décrits sous la dénomination d'*alluvions anciennes*) sur les hauteurs qui bordent la *Meuse* près de *Verdun* peut, selon l'auteur, être expliquée par un volume d'eau plus considérable....

[1] **Gaulard**, *Description géologique du département de la Meuse*. Verdun 1836.

Dépôts dans les Ardennes.

II. 9. Dans les *Ardennes*[1], des cailloux de la grosseur d'un œuf et au-dessus, *qui proviennent des roches de Vosges*, couvrent l'affleurement du calcaire ferrugineux, des marnes du lias et même le bord de l'oolithe inférieur sur la rive gauche de la *Meuse* à 100 et 150 mètres au-dessus de son lit actuel. Ces produits *diluviens* se rencontrent surtout entre *Mouzon* et *Frenois;* ils forment aussi de petits coteaux subordonnés aux collines latérales et qui s'élèvent de 30 ou 40 mètres au-dessus de la rivière.... On les retrouve encore sur les plateaux surbaissés de *Létanne* et de *Beaumont*, à 50 et 60 mètres au-dessus de la vallée, et assez loin de celle-ci; ils alternent par lits avec du sable et présentent *les caractères d'un dépôt tranquille*. Enfin on a cru remarquer les traces d'un courant qui, du *bassin de la Meuse*, aurait jeté sur les plateaux de *Saint-Georges* et dans la vallée de l'*Aire* des galets provenant du *diluvium de la Meuse*, en franchissant un col entre *Cunel* et *Saint-Juvin*.

Dépôts dans le département de la Meurthe.

II. 10. Dans le département de la *Meurthe*[2], le *diluvium des plateaux* a pour caractère général d'être composé d'une argile jaune d'ocre, jaspée de blanc, et de renfermer des cailloux arrondis, *exclusivement quartzeux*. On le trouve couronnant des plateaux élevés, jusqu'à l'altitude de 400 mètres, c'est-à-dire dominant les vallées de 200 mètres.

Cette même argile se trouve cependant aussi dans le fond des vallées, mais mêlée alors, non pas seulement de *cailloux quartzeux*, mais de *cailloux granitiques, dioritiques ou autres, propres à ces vallées*: dans ces conditions le terrain superficiel a reçu la dénomination de *diluvium des vallées*.

Les cailloux provenant des Vosges se retrouvent dans les vallées de la Meuse.

Tels sont les faits sur lesquels nous sommes tous d'accord, et qui ont été constatés et vérifiés à diverses reprises. On sait donc que des cailloux provenant des *Vosges* se retrouvent dans les vallées de la *Meuse* et de ses *affluents*, ainsi que sur des *plateaux élevés;* que dans la *Meuse* et sur les *plateaux*, jusqu'à la *Moselle*, ces cailloux sont exclusivement *quartzeux*, tandis que dans le fond de cette dernière vallée, et dans toutes celles qui viennent s'y jeter, les cailloux représentent toutes les roches propres à ces vallées, les quar-

[1] *Statistique des Ardennes*, par **MM. Sauvage** et **Buvignier**. 1842.

[2] *Aperçu de la Constitution géologique de la Meurthe*, par **M. Levallois** (*Mémoires de la Société des sciences, lettres et arts de Nancy*, 1850).

tzites, les granits, les diorites etc. etc. Enfin, que sur la rive droite de la *Moselle*, aussi bien que sur les plateaux qui dominent la *Meuse*, on remarque des dépôts d'argiles mêlées de cailloux exclusivement quartzeux.

Diluvium des plateaux et diluvium des vallées.

Aussi a-t-on divisé ces dépôts en deux étages, l'un nommé *diluvium des plateaux* et l'autre *diluvium des vallées*.

Les matériaux que les cours d'eau transportent sont tous confusément entassés et mélangés.

Les cours d'eau actuels n'exécutent aucun travail analogue; les matériaux qu'ils déplacent ou qu'ils charrient et déposent, sont tous *confusément entassés et mélangés;* et la Moselle d'aujourd'hui, parcourant une contrée dont la constitution géologique n'a pas varié depuis l'époque dite *diluvienne*, n'a pas la propriété de séparer les cailloux provenant de la destruction du grès vosgien, de les rejeter seuls sur ses rives, et de ne conserver dans les limites de son lit que les galets granitiques et toutes les autres roches cristallines du bassin. Que sa puissance et sa force viennent à augmenter, et elle exécutera sur une grande échelle ce qu'elle produit en petit, en raison de sa force actuelle; et qu'elle parvienne à s'élever à l'altitude de 400 mètres et à transporter des galets sur les plateaux des environs de *Toul*, de *Verdun* et des *Ardennes* ou dans le bassin de la *Meuse*, ses déjections alluviennes offriraient un mélange de toutes les roches d'amont.

Cette différence essentielle entre les dépôts des plateaux et ceux des vallées, sur le versant de la *Moselle*, et l'identité des uns et des autres, dans le bassin de la *Meuse*, sont des caractères qui révèlent d'une manière certaine, le mode de production de ces prétendues alluvions, et la nature de l'agent sous l'influence duquel elles ont eu lieu.

Un courant diluvien franchissant le col de *Foug* ou du *val de l'Ane*, passages les plus déprimés entre la *Moselle* et la *Meuse*, aurait eu une puissance et une vitesse très-grandes pour agir encore dans la basse Meuse et cependant les dépôts dont il s'agit, ainsi que l'ont fort bien fait remarquer les auteurs de la statistique géologique des *Ardennes*, ont l'aspect de *dépôts tranquilles*. Sur les plateaux, les cailloux sont associés à des argiles qui n'auraient pu s'accumuler sur des lieux élevés, si elles avaient été entraînées ainsi que les galets par des courants violents.

S'il y avait eu inondation du bassin de la *Moselle*, et seulement déversement du trop-plein dans la *Meuse*, un *lac* d'une très-grande étendue aurait existé à l'amont de *Toul;* à partir des environs d'*Igney*, dans les *Vosges*, les eaux auraient été stagnantes, et le transport des matériaux de la région du *grès des Vosges* n'aurait pas été possible au travers des eaux tranquilles du lac, et jusqu'aux plateaux élevés de ses rives (pl. 4, fig. 7).

A *Épinal* même, le courant aurait dû s'élever à la côte de 368 mètres, puisque l'on rencontre sur les plateaux voisins de cette ville, à cette hauteur, *des dépôts de galets quartzeux transportés*, c'est-à-dire à 168 mètres, moyennement au-dessus du lit actuel de la *Moselle;* à droite et à gauche, sur toutes les proéminences qui bordent cette vallée, on retrouve ces mêmes dépôts, tandis que les *galets granitiques constituent le comblement inférieur;* enfin un courant aurait entraîné hors du bassin de la *Moselle* un mélange de tous les matériaux constituant le comblement, jusqu'à la hauteur de *Toul* ou de sa dérivation présumée vers la *Meuse*.

J'ai déjà eu occasion de signaler les différences qui existent entre les *dépôts du fond de la vallée* et ceux qui *couronnent les plateaux*, en suivant le cours de la *Moselle* au-dessous d'*Épinal*, et d'insister sur la nécessité de chercher à leur formation, à la translation et au triage des matériaux qui les constituent une autre cause.

En jetant les yeux sur la carte géologique des *Vosges*, on voit que la région granitique ou des montagnes est séparée des formations calcaires et des contrées où les galets quartzeux se retrouvent exclusivement, par le grès des Vosges formant une large ceinture autour de ces montagnes, et qui s'étend au loin à droite et à gauche des vallées de la *Moselle* et de la *Meurthe*.

Cependant aucune des coupures ou allées secondaires ouvertes dans cette masse arénacée n'est en communication directe avec la Meuse et n'a pu fournir les éléments des comblements qu'on y observe; tous les cours d'eau aboutissant à la *Moselle* mêlent à cette rivière leurs eaux et leurs alluvions, et ce n'est que hors des limites des plus hautes crues que l'on aperçoit ces *bandes parallèles de galets*, constituant les *terrains de transport*, offrant un triage que les eaux auraient troublé et non produit.

Sur cette carte, et suivant les limites tranchées de chacun des

dépôts, si l'on rétablit les *anciens glaciers des Vosges*, d'abord jusqu'aux accumulations de blocs erratiques les plus anciens, jusqu'aux premières moraines frontales, on comprend le mécanisme de la formation et du transport des différentes parties des terrains superficiels.

Les glaciers transportent les matériaux des roches qui les encaissent.

H. 12. Le glacier sortant de la région granitique jusqu'à la rencontre des premiers lambeaux de grès, ne transportait que des débris de roches cristallines, dont les moraines frontales, latérales et profondes sont exclusivement formées dans la haute vallée, tandis que, dans la région arénacée et au-dessous, des galets quartzeux sont venus s'y ajouter.

Mais les glaciers latéraux provenant des *vallées du grès des Vosges*, joignant le glacier principal et cheminant latéralement avec lui, ne pouvaient fournir que des débris de ce grès, et mélanger aux argiles et aux marnes provenant de la destruction des calcaires que des galets quartzeux, les mêmes dispositions; les mêmes causes, dans divers vallées, ont dû produire les mêmes effets, et c'est ce que l'on observe dans le bassin de la *Meurthe* et dans tous ceux qui ont leur origine dans la région granitique, aussi bien que dans celui de la *Moselle*.

La *moraine profonde du glacier principal*, que ne pénétraient et ne pouvaient pénétrer les glaciers secondaires, comprend un mélange de tous les matériaux d'amont : aussi la différence signalée entre les comblements des plateaux et ceux des vallées est-elle parfaitement motivée.

Que ce glacier se soit étendu au loin, jusqu'aux limites extrêmes de la nappe de comblement et des déjections latérales sur les plateaux, on ne saurait en douter, si l'on veut tenir compte de l'ordre et de la distribution des dépôts.

A la hauteur des premiers plateaux couronnés de cailloux quartzeux, les glaciers latéraux se sont déversés sur les proéminences bordant le bassin, et ceux de la rive gauche ont pu franchir ces mamelons aussi bien que les cols pour se répandre dans la *Meuse*, et entraîner au loin avec eux les débris dont ils sont chargés, et consistant exclusivement en sables, en galets quartzeux mélangés à la boue glaciaire et aux détritus argileux et calcaires provenant de la trituration des formations locales.

La *boue glaciaire* s'est alors déposée, soit dans le fond des vallées *sur les moraines profondes*, soit sur les plateaux ou sur les flancs des coteaux. Dans le premier cas, elle constitue des nappes sédimentaires produites dans des bassins inondés; et dans le second, des amas qui n'offrent plus les caractères des dépôts lacustres et de sédiment.

Boue glaciaire ou lehm.

La *boue glaciaire ou le lehm* qui se dépose journellement dans les lacs alimentés par des courants sortant de la région des *glaciers en activité*, peut aussi s'accumuler sur certains points sans le concours des eaux; on voit, à chaque pas, dans les Alpes, des exemples de déjections ou de *coulées boueuses*, sur des plans inclinés, dans l'intérieur et jusque sur les crêtes des moraines anciennes et actuelles, dans des défilés, où des courants ayant acquis une excessive vitesse, s'ils étaient sortis de leurs lits actuels, ne l'auraient pas laissée en place.

Les faits observés dans la vallée de la *Meuse*, loin de révéler l'intervention de courants diluviens, semblent donc prouver l'*action d'anciens glaciers* dans la production des dépôts superficiels, de ces accumulations de sables et de galets placés *lentement et succesivement* sur des plateaux élevés, où ils n'auraient pu s'arrêter s'ils avaient été charriés avec une certaine vitesse, qu'il faudrait bien admettre dans l'hypothèse diluvienne.

Des glaciers seuls ont pu favoriser la production du *dépôt de Villars*, au sommet d'un mamelon situé au confluent de deux vallées; déposer sur les escarpements de *Rebeuville* des galets, des blocs et des sables de trituration; fournir les éléments des nappes stratifiées de lehm et en même temps des amas de détritus identiques sur les lieux élevés.

Les eaux auraient pu détremper les formations argileuses et calcaires d'amont, charrier et abandonner, sur les plaines basses, dans des circonstances données, les éléments d'*un lehm diluvien;* mais celui des plateaux, non-seulement ne se serait pas déposé et mêlé à des galets entraînés des faîtes secondaires des *Vosges*, mais il eût été infailliblement entraîné avec ces galets si, à une époque quelconque, des courants avaient atteint les sommités qui en sont recouvertes; et faut-il encore répéter que des courants auraient encombré le lit de la *Meuse* et les terrains submergés de toutes les

tzites, les granits, les diorites etc. etc. Enfin, que sur la rive droite de la *Moselle*, aussi bien que sur les plateaux qui dominent la *Meuse*, on remarque des dépôts d'argiles mêlées de cailloux exclusivement quartzeux.

Diluvium des plateaux et diluvium des vallées.

Aussi a-t-on divisé ces dépôts en deux étages, l'un nommé *diluvium des plateaux* et l'autre *diluvium des vallées*.

Les matériaux que les cours d'eau transportent sont tous confusément entassés et mélangés.

Les cours d'eau actuels n'exécutent aucun travail analogue; les matériaux qu'ils déplacent ou qu'ils charrient et déposent, sont tous *confusément entassés et mélangés;* et la Moselle d'aujourd'hui, parcourant une contrée dont la constitution géologique n'a pas varié depuis l'époque dite *diluvienne*, n'a pas la propriété de séparer les cailloux provenant de la destruction du grès vosgien, de les rejeter seuls sur ses rives, et de ne conserver dans les limites de son lit que les galets granitiques et toutes les autres roches cristallines du bassin. Que sa puissance et sa force viennent à augmenter, et elle exécutera sur une grande échelle ce qu'elle produit en petit, en raison de sa force actuelle; et qu'elle parvienne à s'élever à l'altitude de 400 mètres et à transporter des galets sur les plateaux des environs de *Toul*, de *Verdun* et des *Ardennes* ou dans le bassin de la *Meuse*, ses déjections alluviennes offriraient un mélange de toutes les roches d'amont.

Cette différence essentielle entre les dépôts des plateaux et ceux des vallées, sur le versant de la *Moselle*, et l'identité des uns et des autres, dans le bassin de la *Meuse*, sont des caractères qui révèlent d'une manière certaine, le mode de production de ces prétendues alluvions, et la nature de l'agent sous l'influence duquel elles ont eu lieu.

Un courant diluvien franchissant le col de *Foug* ou du *val de l'Ane*, passages les plus déprimés entre la *Moselle* et la *Meuse*, aurait eu une puissance et une vitesse très-grandes pour agir encore dans la basse Meuse et cependant les dépôts dont il s'agit, ainsi que l'ont fort bien fait remarquer les auteurs de la statistique géologique des *Ardennes*, ont l'aspect de *dépôts tranquilles*. Sur les plateaux, les cailloux sont associés à des argiles qui n'auraient pu s'accumuler sur des lieux élevés, si elles avaient été entraînées ainsi que les galets par des courants violents.

S'il y avait eu inondation du bassin de la *Moselle*, et seulement déversement du trop-plein dans la *Meuse*, un *lac* d'une très-grande étendue aurait existé à l'amont de *Toul;* à partir des environs d'*Igney*, dans les *Vosges*, les eaux auraient été stagnantes, et le transport des matériaux de la région du *grès des Vosges* n'aurait pas été possible au travers des eaux tranquilles du lac, et jusqu'aux plateaux élevés de ses rives (pl. 4, fig. 7).

A *Épinal* même, le courant aurait dû s'élever à la côte de 468 mètres, puisque l'on rencontre sur les plateaux voisins de cette ville, à cette hauteur, *des dépôts de galets quartzeux transportés*, c'est-à-dire à 168 mètres, moyennement au-dessus du lit actuel de la *Moselle;* à droite et à gauche, sur toutes les proéminences qui bordent cette vallée, on retrouve ces mêmes dépôts, tandis que les *galets granitiques constituent le comblement inférieur;* enfin un courant aurait entraîné hors du bassin de la *Moselle* un mélange de tous les matériaux constituant le comblement, jusqu'à la hauteur de *Toul* ou de sa dérivation présumée vers la *Meuse*.

J'ai déjà eu occasion de signaler les différences qui existent entre les *dépôts du fond de la vallée* et ceux qui *couronnent les plateaux*, en suivant le cours de la *Moselle* au-dessous d'*Épinal*, et d'insister sur la nécessité de chercher à leur formation, à la translation et au triage des matériaux qui les constituent une autre cause.

En jetant les yeux sur la carte géologique des *Vosges*, on voit que la région granitique ou des montagnes est séparée des formations calcaires et des contrées où les galets quartzeux se retrouvent exclusivement, par le grès des Vosges formant une large ceinture autour de ces montagnes, et qui s'étend au loin à droite et à gauche des vallées de la *Moselle* et de la *Meurthe*.

Cependant aucune des coupures ou allées secondaires ouvertes dans cette masse arénacée n'est en communication directe avec la *Meuse* et n'a pu fournir les éléments des comblements qu'on y observe; tous les cours d'eau aboutissant à la *Moselle* mêlent à cette rivière leurs eaux et leurs alluvions, et ce n'est que hors des limites des plus hautes crues que l'on aperçoit ces *bandes parallèles de galets*, constituant les *terrains de transport*, offrant un triage que les eaux auraient troublé et non produit.

Sur cette carte, et suivant les limites tranchées de chacun des

offrant à la fois des *stries glaciaires*, des *karren* et des *trous circul* de la plus parfaite conservation.

On comprend que sur une paroi verticale touchée et pressé le glacier, un courant chargé de galets puisse produire ces p rations ; que des galets mis en mouvement par un filet d'eau, bant contre cette paroi en suivant une cavité ouverte dans la g ne puissent être entraînés et soient continuellement mainten remplacés pendant un certain temps ; et que les déviations laté de l'eau, coulant à la surface des glaciers ou dans les creva laissent des traces de leur passage et de leur action sur les p vers lesquelles elles sont projetées.

Mais dans un courant, dans un fleuve, des galets charriés su une même direction et parallèlement à la pente de la vallée, ne rêtent pas ou ne restent pas suspendus aux flancs des roche carpés pour les corroder plus ou moins profondément et p produire des érosions latérales.

Les trous circulaires de Saint-Mihiel offrent donc les carac des cavités résultant de l'action des eaux, de petits courants rés, dirigés et maintenus dans des canaux débouchant contr parois des rochers, et non d'un cours d'eau puissant qui, agi en toute liberté, aurait laissé des traces différentes de son pas et il faut encore reconnaître ici le *concours de l'action glaciai* admettre qu'au moment où ces perforations ont eu lieu, ces ro étaient *enveloppés par la glace qui transportait dans la Meuse l lets vosgiens*.

Karren de l'époque glaciaire.

Aussi, d'après les motifs que je viens de rappeler et d'ex sommairement, je rapporterai aux formations erratiques les d de matériaux provenant des *Vosges* que l'on rencontre da *Meurthe*, dans la *Meuse* et dans les *Ardennes*. Je considérerai co des *karren de l'époque glaciaire* les cavités qu'offrent les roche *Saint-Mihiel*, de *Rebeuville*, et ceux qui s'élèvent, sur divers p au-dessus du niveau des plus hautes eaux de la *Meuse*.

Conclusions.

H. 14. En suivant le cours de cette vallée, on rencontre des d analogues à ceux que les glaciers ont formés dans les régions où existence, à une époque reculée, ne saurait plus être révoqu doute ; on y constate en même temps des traces évidentes, ir sables de l'action des eaux. L'observation consciencieuse des

uit à l'appréciation rigoureuse des limites dans lesquelles l'eau
glace ont séparément ou simultanément concuru à la produc-
des terrains superficiels, des caractères propres aux alluvions
x terrains erratiques; mais elle conduit aussi à faire voir que
eux causes, réduites même à leur puissance actuelle, ont pu
e pour produire à une autre époque les effets que je viens de
, et sans qu'il soit besoin, pour les expliquer, *de les attribuer*
inondations extraordinaires, dont les traces ne se retrouvent
part.

PHÉNOMÈNES ERRATIQUES

ENTRE

BALE ET COBLENCE[1].

Terrain erratique entre Bâle et Coblence.

Introduction. 1858.

H. S'il est vrai, comme cela paraît être constaté et démontré, que le *lehm*, ou *boue glaciaire*, *est le produit de la trituration des matières minérales soumises à l'action des glaciers*, on doit le retrouver dans tous les dépôts erratiques, moraines profondes, latérales et frontales, aussi bien que dans les bassins, où il a été entraîné par les eaux et déposé sous forme de sédiment; et évidemment sa présence prouvera que les accumulations soit *erratiques*, soit *alluviennes*, dans lesquelles il existe comme élément essentiel, n'ont pu *précéder les glaciers anciens ou actuels*[2].

Terrains de comblement. Moraines profondes

Dans les dépôts de comblement, que j'ai regardés et que je continue à considérer comme des *moraines profondes*, je n'ai aperçu nulle part une division en deux étages; le premier, ou inférieur, *dépourvu de boue glaciaire*, et le deuxième, ou supérieur, en offrant seul et exclusivement.

Le *lehm* s'y rencontre toujours, dans toutes les parties et *à toutes les profondeurs connues, comme élément essentiel et constitutif*; et si ces comblements étaient d'origine *diluvienne*, ils appartiendraient évidemment à la *période glaciaire*. Mais les caractères des nappes de comblement, l'arrangement et la distribution des matériaux qui

[1] Par **Henri Hogard**, paragraphes précédés de H.

[2] B. A. Boue glaciaire, *lehm*, *læss*, sont des termes synonymes.

les composent, aussi bien que la présence même du lehm ne permettant pas d'admettre l'action exclusive des cours d'eau dans le transport des matériaux dont elles se composent, ainsi que j'ai cherché à le démontrer dans les observations qui vont suivre, je n'ai pas encore entrevu la nécessité de modifier la classification qu'il m'a paru naturel et rationnel d'adopter pour les terrains superficiels.

Dépôts glaciaires.

Dans ces diverses formations on retrouve les preuves soit de l'action glaciaire exclusive, soit de l'action combinée de la glace et de l'eau, enfin de l'action exclusive de cette dernière cause; et, dans mes observations, je me suis constamment attaché à déterminer les caractères propres aux divers dépôts *glaciaires* ou *alluviens* supérieurs aux terrains tertiaires et qu'il me semble toujours possible de séparer les uns des autres.

Mais je n'ai reconnu nulle part aucun indice de terrains placés tantôt au-dessous, tantôt au-dessus des dépôts glaciaires, et dont on attribue l'origine à des courants puissants, qui auraient inondé les plaines, les vallées, et auraient recouvert même des montagnes élevées, soit avant l'apparition des anciens glaciers, soit au moment où ils se sont retirés : *terrains* et *causes* également imaginaires dont, jusqu'ici, on n'a su ni définir les caractères et la position géologique ni montrer les preuves au moyen de traces que des courants extraordinaires n'auraient pu manquer de laisser sur le sol exposé à leur action violente.

Boue glaciaire.

Si je me suis trompé dans mes appréciations, je désire vivement être éclairé et désabusé; mais, en attendant, et avant d'admettre, sans preuves, les hypothèses nécessaires ou superflues auxquelles on a habituellement recours pour expliquer la formation des terrains superficiels, la présence de la *boue glaciaire* dans les dépôts de comblement, que je considère comme des moraines profondes, demeure un fait acquis et que j'ai vérifié avec soin : il m'a servi à déterminer l'âge et l'origine de ces nappes qualifiées de diluviennes, et qui n'ont pu ni précéder l'époque des glaciers, puisque le lehm prouve l'existence de l'action glaciaire au moment où elles se sont formées, ni s'étaler postérieurement, puisqu'elles servent de base, non-seulement à toutes les moraines frontales les plus avancées, les plus anciennes, aussi bien qu'à celles des glaciers en activité,

mais encore à tous les dépôts alluviens anciens, récents et actuels.

Je viens encore aujourd'hui insister sur cette question et essayer de confirmer, par de nouvelles preuves, les observations que j'ai publiées sur les terrains superficiels des Alpes de la Suisse et des Vosges.

25 novembre 1858. — **H. Hogard.**

Plaine du Rhin.

H. 1. La plaine du Rhin, entre les *Vosges* et la *Forêt-Noire* (Schwarzwald), est une immense *nappe de comblement* formée de matériaux provenant de ces deux chaînes, du *Jura* et des *Alpes :* c'est dans ce dépôt que le Rhin et les diverses rivières qui viennent s'y jeter ont creusé leurs lits.

Cette nappe, d'une régularité parfaite, présente une pente longitudinale très-faible de $0^m,001$ moyennement : transversalement elle paraît plane et horizontale, mais elle forme cependant deux plans légèrement inclinés, à partir du pied des bords du bassin vers le lit du fleuve : elle se retrouve et se prolonge dans toutes les vallées supérieures, mais avec cette différence, bien entendu, qu'on ne rencontre plus, dans chacun de ces bassins, que des matériaux provenant des masses minérales dans lesquelles ces cavités sont ouvertes.

Bâle à Neuf-Brisach.

H. 2. A la hauteur de *Bâle*, c'est-à-dire au point où la vallée parvient à la limite de la Suisse, le Rhin est bordé de buttes de cailloux, et de terrasses, qui se prolongent jusque près de *Neuf-Brisach*, sur ces deux rives, mais qui disparaissent entièrement entre le *Kaiserstuhl* et *Bingen*[1] ; et dans cette région la surface d'une grande partie de la nappe ne dépasse plus que très-faiblement le niveau du fleuve.

Diluvium. Alluvions.

H. 3. Dans ce comblement provenant des mêmes sources, formé dans toutes ses parties indistinctement des mêmes matériaux, on a cependant établi deux divisions : l'une comprenant le dépôt situé hors des atteintes des plus hautes eaux, nommé gravier ancien ou *diluvium*, l'autre, comprenant tout l'espace accessible aux eaux du

[1] **Daubrée**, *Observations sur les alluvions anciennes et modernes du bassin du Rhin* (*Mémoires de la Société d'histoire naturelle de Strasbourg*, t. IV).

Rhin, et dans lequel elles exercent leur action, considéré com
un terrain plus récent : ce sont les *alluvions modernes*.

Cette séparation naturelle et rationnelle, en apparence, ne
semble cependant pas avoir la valeur qu'on y attache généraleme
les deux dépôts font évidemment partie d'un seul et même tout ;
si le Rhin attaque et entraîne avec la plus grande facilité des ar
de sable et de cailloux qu'il remanie, déplace et entraîne gradu
lement, il a évidemment trouvé sur place ces matériaux dont il
certainement pas effectué le transport.

Dans un précédent mémoire sur le terrain erratique des Vosge
j'avais déjà exprimé cette pensée, et je disais : « le Rhin coule
« une nappe de comblement dont l'épaisseur n'est pas connue,
« ce dépôt, quelle que soit son origine, est parfaitement disp
« pour suffire l'action du fleuve, qui attaque les berges, déplace
« masses de graviers et en forme des bancs qu'il déplace ou r
« ilite ; mais que ces eaux viennent à se retirer subitement p
« laisser voir cette vallée d'érosion, parsemée de proéminen
« irrégulières et séparées par des canaux sinueux et anastomos
« on aura sous les yeux un exemple de la distribution qui se
« marque dans la plupart des terrains de comblement et dont
« n'expliquait pas autrement la formation qu'en invoquant l'act
« des eaux. »

Ce travail du fleuve vient d'être décrit avec beaucoup de déta
et avec toute la clarté et la science que **M. Daubrée,** plus q
tout autre, pouvait apporter dans un mémoire sur cette questio
Ses indications sont tellement précises et tellement utiles à la ca
que je m'efforce de soutenir, que je ne puis me dispenser d'en ci
ici quelques passages.

H. 4. « Le Rhin, en déplaçant son thalweg, crée dans son
« des *proéminences* de formes très-surbaissées, que l'on nom
« *bancs* ou *îles*, ayant à l'amont des pentes très-douces, généra
« ment inférieures à 1 degré, et se terminant à l'aval par des tal
« rapides de 25 à 35 degrés ; les cailloux remontent doucement
« plan faiblement incliné pour arriver à l'arête de la portion
« deux surfaces qui plongent en sens inverse ; alors ils tombent

[1] **H. Hogard,** *Coup d'œil sur les terrains erratiques des Vosges*, 1848, p. 43.
[2] **Daubrée,** Mémoire déjà cité.

« sont bientôt recouverts par d'autres cailloux qui suivent la même
marche (pl. 2, fig. 12).

« Quand le banc ou l'île est composé de cailloux à sa partie supé-
rieure, leur disposition présente un trait frappant, particulière-
ment vers l'amont du banc : ils sont imbriqués les uns sur les
autres à la manière des écailles de poissons ou des tuiles d'un
toit...

« Cette disposition ne s'observe pas dans toute l'épaisseur d'un
banc correspondant à une crue unique, mais elle se montre à
différentes hauteurs, ainsi que nous le représentons (pl. 2,
fig. 13).

« Les bancs présentent des lits successifs d'accroissement, qu'on
reconnaît facilement, car la surface d'un banc est toujours for-
mée de gravier bien purgé de sables et de menus cailloux, tandis
qu'au contraire le gravier situé au-dessous de cette couche superfi-
cielle, qui a été lavée, est toujours fort mélangé de menus débris »

Les îles cependant sont quelquefois attaquées, soit en amont, Entre Bellingen et Istein.
oit latéralement par le courant, et elles offrent une disposition
verse, c'est-à-dire un talus plus incliné vers le courant et une
ente plus faible vers les rives ou dans la direction du cours d'eau,
ntre *Bellingen* et *Istein*, rive droite (pl. 2, fig. 14).

Tel est, en quelques mots, le tableau de l'action qu'exerce jour- Érosions.
ellement le Rhin dans les limites de son domaine actuel ; quant
ux autres dépôts *comparables* à ceux que roulent les cours d'eau,
uoique souvent recouverts par le Rhin, et que l'on voit s'élever
squ'aux sommités de plusieurs collines, on les assimile avec rai-
n à ces derniers, et l'on paraît admettre encore aujourd'hui que
s cours d'eau actuels ne pouvant les atteindre, même dans les plus
randes crues, leur production est une conséquence naturelle à
pparition de courants plus violents qui, à une époque plus re-
ulée, auraient parcouru les plaines et sillonné les montagnes.

H. 5. La nappe de comblement de la vallée du Rhin constitue sur Nappe de comblement. Bâle à Bingen.
ne longueur de plus de 270 kilomètres, de *Bâle* à *Bingen*, toute la
laine comprise entre les chaînes des *Vosges* et de la *Forêt-Noire*,
ont la largeur moyenne est de 30 kilomètres; il est nécessaire
pourtant de noter en passant quelques-unes des dimensions trans-
versales de ce dépôt; ainsi il a, savoir :

A Bâle.	6	kilomètres.
A la hauteur de Mulhouse . . .	31	»
A la hauteur de Sultz	45	»
A la hauteur de Mannheim . . .	35	»

Il semble se terminer à l'entrée du *défilé de Bingen*, mais on en voit quelques traces sur les rives du fleuve, dans le défilé même, et il se développe de nouveau à partir de *Coblence* où les comblements du *Rhin* et de la *Moselle* viennent se réunir.

Mulhouse à Valdieu et à Riedisheim.

A partir de *Mulhouse*, il s'avance dans une sorte d'anse remontant vers l'amont, entre les *Vosges*, le contrefort que coupe le canal du Rhône-au-Rhin à *Valdieu* et le promontoire formé par une série de collines se rattachant à l'extrémité de la chaîne du *Jura*, près de *Bâle*, et se terminant à *Riedisheim*, près de Mulhouse, entre cette ville et *Rixheim*.

La masse principale du comblement se compose de matériaux provenant des Alpes et du Jura suisse.

La masse principale de ce comblement se compose de matériaux provenant des *Alpes* et du *Jura suisse*, à partir des environs de *Mulhouse*. Sur toute la rive gauche, ainsi que sur la rive droite, il est recouvert partiellement de nappes de galets provenant des *Vosges* et de la *Forêt-Noire;* puis enfin un dépôt assez puissant de *lehm* surmonte et recouvre le tout sur différents points.

Laissons de côté, pour un moment, les buttes élevées de galets, les plateaux couronnés de ces débris et de lehm, élevés au-dessus du niveau de cette nappe, ou de la plaine, et cherchons d'abord à nous rendre compte de la manière dont la première partie du comblement a pu avoir lieu.

Courants d'eau.

H. 6. Le Rhin dans ses limites actuelles, et lors des plus grandes eaux, ne saurait plus en recouvrir la surface; aussi on reconnaît, dans tous les écrits relatifs à la question que je veux étudier, que des courants accidentels, extraordinaires, mais tantôt violents, tantôt assez calmes, ont parcouru la vallée avant l'époque actuelle, et ont agi pendant tout le temps nécessaire pour opérer ce remblai d'une profondeur inconnue, et dont la surface, entre *Mulhouse* et *Bingen* seulement, est de plus de 800,000 hectares.

Entre Mulhouse et Bingen.

Si l'on admet qu'un cours d'eau assez puissant pour charrier les graviers et les blocs que renferme ce dépôt ait occupé la vallée du Rhin, il faudra supposer en même temps qu'il s'étendait d'une rive

à l'autre, et qu'il touchait à la fois aux pieds des deux chaînes latérales; et comme on ne peut admettre qu'un courant de 30 kilomètres moyennement de largeur ait eu la même force, la même vitesse à tous les points de sa section, on arrivera tout naturellement à supposer un lac occupant le bassin traversé par le cours du Rhin.

S'il en était ainsi, on rencontrerait sans doute sur un point quelconque des bassins supérieurs quelques exemples de faits produits, dans les mêmes circonstances, quoique par des causes beaucoup plus faibles, mais agissant cependant suivant des lois invariables.

Quand une rivière se jette dans un lac, elle abandonne près de son embouchure les matériaux qu'elle charrie, sous forme d'atterrissements successifs constituant des nappes coniques diversement inclinées. Les pentes de ces déjections varient suivant la nature des matières transportées, le sable et le limon s'abaissent graduellement sous un angle beaucoup plus faible que le gravier et les galets, et les divers affluents produisant dans le même temps des atterrissements, différant entre eux comme les terrains d'où ils proviennent, il se forme dans le bassin, et à portée de ses rives, des dépôts distincts, indépendants, qui tendent cependant à se rapprocher les uns des autres, et finalement à s'unir et à former une masse dans laquelle le mélange des matériaux ne saurait cependant s'opérer complétement; et leur réunion peut être favorisée par les couches de sédiments, qui se déposent sur tous les points où l'influence des courants cesse de se faire sentir.

Une section faite dans un terrain ainsi formé offrirait des couches diversement inclinées et recourbées, reliées par les assises horizontales des sédiments, et jusqu'ici il ne paraît pas que l'on ait observé rien de semblable dans la vallée du Rhin.

Le comblement de cette vallée d'ailleurs ne présente pas une réunion de plusieurs accumulations diverses reliées par un dépôt de sédiment distinct: c'est un plan incliné, régulier, à la surface duquel, indépendamment du lehm, dont je parlerai plus tard, on observe quelques couches limoneuses, mais dont la masse est réglée parallèlement à la pente du terrain, et de vastes champs de galets parfaitement nivelés et dans l'arrangement desquels rien ne rap-

pelle des nappes de déjection produites par des cours d'eau plus ou moins violents.

Galets ni lavés ni roulés à Rixheim.

H. 7. Une coupe prise près de *Rixheim* (fig. 15, pl. 2) montre les galets distribués sans ordre dans toute la masse, des sables et de petites couches limoneuses ; les galets (fig. 16 à 22) offrent des formes diverses, ils sont arrondis ou anguleux, à faces planes et polies se raccordant à des contours plus ou moins arrondis. Sur quelques points ils sont agglutinés, comme le nagelfluh, par un ciment argilo-calcaire. Ceux qui sont libres sont très-souvent enduits d'une *boue fine ou de lehm* évidemment glaciaire : la masse paraît avoir été fortement comprimée, *et nulle part on n'y observe ces couches de galets imbriqués marquant divers étages, comme dans les îles ou bancs formés journellement par le fleuve* (pl. 2, fig. 12 et 13), et l'examen de ce dépôt prouve que ses éléments ont été mouillés, pénétrés par les eaux, mais qu'ils n'ont en aucune façon été *lavés* et *roulés* par des courants.

Mais dans un bassin où l'on suppose qu'un cours d'eau principal et ses affluents viennent se jeter, chargés de détritus et de galets, le comblement ne saurait être complété et dressé que par des dépôts de sédiment remplissant les plis des déjections, et tendant à former graduellement une surface horizontale; et dans le cas où les affluents d'une rive seraient plus nombreux et plus considérables que ceux de la rive opposée, le comblement offrirait encore une masse irrégulière beaucoup plus puissante d'un côté que de l'autre.

Lac.

H. 8. En ce qui concerne la *plaine du Rhin*, il ne faut pas perdre de vue qu'il s'agit d'abord de l'arrangement des matériaux provenant des Alpes ; que leur accumulation produite par un cours d'eau ayant une issue unique, à *Bâle*, loin de former une grande nappe, renflée vers le milieu et déprimée vers les rives, offre au contraire deux plans légèrement inclinés vers le thalweg, et suivant sur chacune d'elles une ligne de pente continue. Le Rhin aurait donc, contrairement à ce qui a lieu dans le régime des cours d'eau actuels, rejeté d'abord les matériaux transportés sur ses rives, puis continué le comblement successivement des bords vers le centre.

Mais dans un lac, comment expliquer ces déjections latérales, composées de matériaux souvent volumineux, et sur des points où

les eaux nécessairement devaient être calmes? Je doute qu'on y puisse jamais parvenir.

Ce lac aurait reçu d'ailleurs le tribut de nombreux affluents dont les rivières actuelles, beaucoup plus faibles qu'au temps des *inondations générales*, marquent encore le cours. Ces rivières assurément ne pouvaient mêler leurs eaux à celles du Rhin sans mêler leurs alluvions aux siennes, ou tout au moins sans les intercaler dans la masse principale du dépôt; mais dans la nappe ce mélange n'existe nulle part, et le comblement alpin est partout nettement séparé du comblement provenant des *Vosges* et de la *Forêt-Noire* et recouvert par lui; et cette séparation est une indication précieuse, bien constatée par les auteurs qui se sont plus spécialement occupés de cette question et dont le témoignage ne saurait être révoqué en doute.

Érosions par des courants d'eau.

H. 9. En lisant les divers mémoires qui ont été produits sur ce vaste dépôt, et quelle que soit l'attention qu'on apporte dans leur examen, on ne trouve nulle part une explication complète et détaillée de la manière dont ce comblement principal s'est opéré; un ou plusieurs courants diluviens, assez violents, si l'on tient compte du volume de certains blocs, sont les seuls agents que l'on fasse intervenir, pour encombrer le fond de la vallée en premier lieu, et régler ensuite le plan incliné par des travaux successifs.

Mais quels exemples avons-nous de cours d'eau procédant de cette façon, remplissant le fond d'un bassin, dressant avec une régularité parfaite leurs déjections, et finalement, après s'être restreints, dans les limites qu'ils ne pourront plus franchir, se creusant des coupures profondes pour y régler et y fixer leurs cours?

Les torrents assurément exécutent d'immenses travaux de déblais et de remblais; on rencontre à chaque pas dans les Alpes des accumulations anciennes ou récentes produites par ces puissants agents de destruction. Les *cônes de déjection* n'ont sans doute aucun rapport avec la nappe régulière dont il s'agit, mais cependant ils font voir que les remblais font toujours suite à des déblais provenant du bassin de réception, souvent arrachés aux flancs des goulots d'écoulement, à la sortie desquels les accumulations commencent seulement à se produire, et le comblement de la plaine du Rhin est un immense remblai dont on connaît les sources et qui n'existe pas

exclusivement au-dessous du point à partir duquel le Rhin trouvant une large issue, un bassin, aurait pu répandre ses eaux chargées de matériaux, mais qu'on retrouve sans interruption, dans tous les passages resserrés, où la vitesse des courants devait singulièrement s'accroître, et jusque dans le fond des bassins de réception eux-mêmes, c'est-à-dire à la source des cours d'eau, dans les goulots d'écoulement aussi bien qu'à de grandes distances.

Terrasses successives. Bâle à Neuf-Brisach.

H. 10. Si l'on jette les yeux sur une coupe transversale du Rhin prise dans une partie de la vallée entre *Bâle* et *Neuf-Brisach*, et ne comprenant qu'une très-faible étendue de terrain sur chacune des rives, on remarque en dehors du lit actuel une coupure plus élevée, dans laquelle les eaux, à une époque reculée, ont dû exercer leur action; et cette disposition en terrasses successives indique les réductions successives du fleuve (pl. 2, fig. 3).

Les terrasses les plus élevées *a b* se rattachent aux plans inclinés de la nappe de comblement, les talus *c c* sont les premières coupures que les eaux ont dû y creuser, et au delà desquelles on ne remarque aucune trace d'érosion du courant principal. Enfin les points *d d* forment les limites du lit actuel, dans lequel s'exécutent les déplacements, les transports de matériaux provenant de la masse générale de comblement et constituant les bancs ou îles dont le nombre est si considérable dans le lit même du Rhin.

On comprend qu'à l'époque pendant laquelle les eaux s'élevaient vers les talus *c c*, elles exécutaient des travaux analogues à ceux qu'elles continuent aujourd'hui sur une plus petite échelle, et que les bancs plus considérables *x x*, dont les surfaces se raccordaient à la ligne du niveau *d d*, ont été minés par leur base et se sont abaissés graduellement à mesure que le volume des eaux diminuait. Mais ce que rien n'explique dans les observations relatives au régime du fleuve, c'est ce nivellement régulier des terrasses supérieures *a b*, sur chacune de ses rives, à moins qu'on ne démontre qu'elles font partie d'un lit plus élevé encore et dont il serait alors nécessaire de déterminer les limites que l'on n'aperçoit nulle part.

En supposant que la coupe nº 3 (pl. 2) représente la totalité de la nappe, on ne parviendrait pas encore à lever tous les doutes et à détruire toutes les objections concernant le mode de comblement. En effet, comment concilier les idées admises et les faits observés?

On nous apprend que le Rhin a d'abord comblé le fond de la vallée et qu'il a ensuite commencé à creuser son lit, c'est-à-dire à détruire la régularité de la nappe sur les points où il coule, et qu'il l'attaque précisément au moment où sa force d'action diminue en raison de la réduction qu'il subit dans son volume, et par conséquent dans sa vitesse.

Avec une vitesse plus considérable, s'il s'était répandu sur la nappe, il y aurait creusé des cavités plus ou moins profondes, et en un mot il aurait converti toute la plaine en un terrain hérissé de mamelons et sillonné par un grand nombre de canaux irréguliers. Que les bancs ou îles se soient abaissés, comme on doit admettre que se sont affaissés ceux qui sont ponctués sur la coupe, et qui hors de la veine fluide, des dépôts de détritus et de sables, aient été rejetés sur cette surface irrégulière, pour faire disparaître les inégalités, les cavités les plus prononcées, il resterait encore des signes certains de l'action des eaux et révélant leur passage sur les terrains qu'elles ne peuvent plus envahir aujourd'hui; ainsi l'on aurait les dispositions indiquées dans la fig. 1, pl. 2, représentant les terrasses et les îles à la hauteur de *Bellingen* (ou la fig. 2), telles que les laisserait le Rhin s'il venait à subir la réduction supposée dans cette coupe.

Mais, dans les fouilles pratiquées sur tant de points de la vallée, on ne voit nulle part les ondulations de la surface, et l'on reconnaît au contraire des couches parfaitement dressées, et un arrangement qu'un agent moins inconstant qu'un fleuve rapide a seul pu produire. Et je ne dois pas omettre de noter en passant un fait bien connu de tous ceux qui ont étudié le régime des cours d'eau, c'est que les détritus, les sables ou menus matériaux rejetés ou abandonnés sur les rives et sur tous les points où l'influence des courants cesse de se faire sentir, forment des accumulations à surfaces courbes et irrégulières, et que nulle part ils ne constituent des remblais coordonnés soit à un plan régulier longitudinalement, soit transversalement à des plans uniformément dressés et placés latéralement à des hauteurs correspondantes.

Le Rhin n'exécute pas de nouveaux remblais.

H. 11. Le Rhin *n'exécute pas de nouveaux remblais dans son lit*, qu'il tend au contraire à approfondir et à dégager des obstacles qui entravent sa marche; les remaniements qu'il opère sous nos yeux

en sont une preuve formelle : aussi est-il probable que les partisans de la théorie diluvienne ne considèrent pas le comblement de la plaine du Rhin comme un remblai exécuté dans un immense lit d'un fleuve d'une puissance extraordinaire, mais comme une accumulation dans un vaste bassin de tous les matériaux que les eaux diluviennes auraient enlevés aux hautes régions et dont elles ont ensuite opéré le triage et l'arrangement au moyen d'oscillations particulières.

Le simple examen des profils n° 4 (pl. 2) et n° 1 (pl. 1), représentant la nappe entre *Schlierbach* et le *Petit-Kembs*, entre *Griesheim* et *Sultz*, les terrasses élevées au-dessus du Rhin et les limites de son lit actuel, suffira pour démontrer combien il faudrait de bonne volonté et de dévouement à la cause diluvienne pour admettre cette explication purement hypothétique. En effet, de *Schlierbach* au *Grand-Kembs*, rive droite, la largeur de la nappe est de 6 kilomètres et sa pente transversale est de $0^m,0015$; entre les deux *Kembs*, c'est-à-dire de l'une à l'autre des arêtes des terrasses supérieures, la distance est de 1500 mètres, et le lit du Rhin n'a pas plus de 600 mètres de largeur.

A la hauteur de *Sultz*, on a les distances suivantes, ci.	24,000	mètres.
De *Blodelsheim* à *Griesheim*, terrasses supérieures.	4000	»
Au delà de *Griesheim*.	2000	»
La largeur du lit du Rhin.	1500	»

La nappe entre ces derniers points a donc 30 kilomètres, soit vingt fois la largeur du lit actuel du fleuve, qui ne parviendrait à la rive gauche du comblement, près de Sultz, qu'en s'élevant de 55 mètres au-dessus de son niveau actuel, hauteur qu'il aurait nécessairement dû dépasser de beaucoup pour opérer des transports au point où 55 mètres de plus lui permettraient seulement de venir affleurer la surface du comblement dont la puissance est inconnue.

Les profils de quelques parties habilement choisies de la plaine et du lit du Rhin peuvent, il faut l'avouer, détourner l'attention du lecteur et, au moyen de quelques faits isolés, sinon lui donner la

conviction que ce qu'on lui représente est le résultat de l'action exclusive des eaux, au moins lui laisser quelques doutes à cet égard; et si l'on évite surtout de lui rappeler que les galets de la plaine du Rhin et ceux des moraines profondes non contestées des hautes vallées sont absolument identiques: fait positif, que je me contente de rappeler en passant (pl. 2, fig. 15 à 23).

Bâle et Sultz.

Mais si l'on substitue aux croquis partiels produits jusqu'ici, des profils et une carte de l'ensemble du dépôt, dans la partie supérieure du bassin, c'est-à-dire entre *Bâle* et *Sultz* par exemple, on reconnaîtra immédiatement qu'il y a autre chose à considérer ici que l'action d'un cours d'eau soit entre les terrasses marquant ses limites, soit sur une plaine basse dans laquelle il a pu divaguer à diverses reprises, et former quelques atterrissements que l'on montre comme des preuves de l'origine diluvienne de la messe du comblement.

Bâle à Mulhouse. Col de Valdieu. Bassins de l'Ill et du Doubs.

En effet, si l'on indique sur un plan l'ensemble du dépôt et les dispositions principales de ses diverses parties, on voit ce dépôt non-seulement occuper d'un côté à l'autre du bassin tout ce que l'on nomme la plaine du Rhin, mais encore recouvrir les collines et les proéminences qui s'avancent, à partir des contreforts de la chaine du *Jura*, près de *Bâle*, jusqu'à *Mulhouse*, entre les bassins du *Rhin* et de l'*Ill*, et se rattachant aux rameaux avancés du massif du *Bœrenkopf* par le *col de Valdieu*, à la limite supérieure des bassins de l'*Ill et du Doubs*.

Hauteur du dépôt des cailloux et du lehm (Bâle).

H. 12. Le dépôt de cailloux s'élève à plus de 100 mètres au-dessus du niveau du Rhin à *Bâle*, et forme, à l'emplacement même de cette ville, des buttes qui s'abaissent graduellement jusqu'au niveau de la plaine dans la direction de *Blotzheim;* il se retrouve sur les hauteurs de *Ranspach*, de *Folgensberg*, d'*Altkirch*, à 446, 455 mètres etc. au-dessus du niveau de la mer, soit à 180 mètres moyennement au-dessus du Rhin à Bâle, et à 214 mètres au-dessus de la plaine à *Schlierbach:* sur d'autres plateaux les cailloux disparaissent et sont remplacés par le lehm, qui s'étend sur toutes les sommités, entre *Mulhouse* et *Francken*, à 360 et 413 mètres, soit jusqu'à 170 metres au-dessus de la plaine à *Mulhouse*.

Ranspach, Folgensberg, Altkirch, Schlierbach, Mulhouse, Francken.

Bâle.

Les cailloux des buttes élevées, près de Bâle, proviennent en grande partie des Alpes, du Jura et de la Forêt-Noire; mais ils sont

associés et mêlés à des *cailloux vosgiens*, parmi lesquels on distingue parfaitement la syénite feuille morte des ballons [1].

Occupons-nous d'abord des cailloux des plateaux, désignés sur la carte géologique du département du Haut-Rhin, sous le nom de *cailloux du lehm* (Voltz).

Schlierbach, Kembs, Folgensberg.

Ce n'est pas assez d'élever le Rhin de 17 mètres pour l'amener au pied des collines tertiaires à *Schlierbach*, il faudra encore le faire monter, non-seulement à la côte 455 mètres, c'est-à-dire à 222 mètres au-dessus de *Kembs*, mais plus haut encore, si l'on veut qu'il puisse charrier des cailloux sur le plateau de *Folgensberg;* et, en effet, s'il était venu seulement affleurer ce point, il est bien évident qu'il n'aurait pu y transporter ces matériaux (pl. 1, fig. 2).

Blodelsheim.

Cependant, en admettant seulement pour le moment une lame d'eau de 222 mètres touchant à la côte 455 mètres, on aurait, eu égard à la pente de la vallée, à peu près 212 mètres vers *Blodelsheim;* et si l'on veut apprécier très-approximativement la vitesse et le débit, en une seconde, du fleuve ainsi gonflé, en faisant usage de la formule qui s'applique le mieux aux cas de grandes vitesses,

$$u = 51\sqrt{\frac{p\,s}{c}}$$ dans laquelle

s la section du fluide serait moyennement $\frac{30^k \times 212^m}{2} = 3{,}180{,}000$ mètres carrés ;

p la pente par mètre $= 0^m{,}001$; c le périmètre mouillé $= 31$ kil.

On aura pour la vitesse $u = 15$ mètres, et pour le débit :

$q = 47{,}100{,}000$ mètres cubes par seconde, 4,121,280,000,000 mètres cubes par jour, soit une lame d'eau de 10 mètres de hauteur sur plus de 41 millions d'hectares par 24 heures.

Transport des cailloux et du lehm.

H. 13. Les sources d'un pareil fleuve sont taries en grande partie et, on le comprend, il serait difficile, sinon impossible, de déterminer même approximativement les lieux d'où elles auraient pu surgir : c'est même l'un des points les plus obscurs de la question. Et en supposant au *Rhône*, à l'*Aar*, à la *Doire*, au *Tessin* et aux autres rivières sortant des Alpes un débit proportionné à celui-ci, on parviendrait à d'innombrables quantités !

[1] **M. Daubrée**, Mémoire cité.

Vitesse du Rhin.

La vitesse du Rhin à *Bâle* est de $2^m,25$ aux eaux moyennes et de $4^m,16$ aux hautes eaux [1], et c'est plus qu'il n'en faut pour rendre son action redoutable aux riverains. Mais avec une vitesse de 15 mètres au moins, que serait devenue la symétrie de la plaine? Quels affouillements n'aurait-il pas produits sur un dépôt aussi meuble, que de proéminences n'eût-il pas élevées dans cet ancien lit qui présenterait aujourd'hui, et sur une large échelle, ce qu'offrirait en tout petit son lit actuel s'il venait momentanément à se trouver à sec? Et de plus on y rencontrerait une certaine quantité de blocs de dimensions souvent considérables, et quelle que soit l'énormité des résultats auxquels cette hypothèse conduit, il faut non-seulement les admettre dans le système diluvien, mais les exagérer encore si l'on veut expliquer la présence des cailloux à 455 mètres, puisqu'il y a eu transport sur ce point, opération qui ferait supposer au courant assez de force et par conséquent une lame d'eau d'une certaine importance.

Mais, d'un autre côté, le fleuve coulant des Alpes et inondant le bassin du Rhin, n'aurait pu suffire à lui seul pour compléter l'œuvre; les secours d'affluents non moins formidables devaient lui être nécessaires. En effet, la présence de cailloux vosgiens, associés aux galets alpins et mêlés à ces derniers, prouve qu'il y a eu transport du massif du Ballon jusqu'aux terrasses placées à l'entrée de la plaine; or voici le trajet le plus direct et le plus facile que le torrent aurait dû suivre en quittant le bassin de réception d'où s'échappe aujourd'hui un cours d'eau plus modeste, la *Doller* (fig. 3, pl. 1). Il fallait, tout d'abord, qu'il fût assez puissant pour franchir, et avec force, la côte de 455 mètres ou le plateau de *Folgensberg*, qu'il pût rejeter ses galets de la vallée de la *Doller* dans celle de *Sultzbach* (le contrefort qui les sépare près de *Lauw* n'a que 164 mètres au-dessus de ce dernier village), et les faire descendre jusqu'à la rencontre du bassin de l'*Ill*, pour les pousser ensuite, en remontant 187 mètres, par le vallon de *Hundsbach*, au-dessus du plateau de *Folgensberg*, puis enfin pour les laisser descendre près de *Heilingen* jusqu'au pied des terrasses, au sommet desquelles ils devaient encore remonter avant de s'arrêter.

Vallée de la Doller et de Sultzbach. Vallon de Hundsbach.

[1] **M. Defontaine**, *Annales des ponts et chaussées*, 1833.

associés et mêlés à des *cailloux* [illegible] voie plus directe ou plus tingue parfaitement la syénite [illegible] qui est plus extraordinaire

Occupons-nous d'abord de [illegible] auraient dû agir simultané- la carte géologique du dépa[illegible] même parvenu jusqu'au cœur *cailloux du lehm* (Voltz). [illegible] vers l'amont sous un angle d'en-

Schlierbach, Kembs, Folgensberg.

Ce n'est pas assez d'[illegible] simultanément, c'est qu'on en a la pied des collines tert[illegible] de la superposition, mais du mélange monter, non-seulem[illegible] des Vosges. tres au-dessus de [illegible] étaient ainsi submergés, les torrents puisse charrier [illegible] nécessairement se trouver en communication effet, s'il était [illegible] auraient certainement pu y exécuter quelques qu'il n'aurait [illegible] cailloux et le lehm débordent l'arête séparative

Blodelsheim.

Cepend[illegible] *et* s'élèvent à 105 mètres au-dessus du col, et d'eau de [illegible] *ne semble* pas que les galets alpins aient pénétré dans égard à [illegible] arrosé par cette dernière rivière ; c'est une anomalie que *heim* [illegible] en passant, sans m'arrêter à en rechercher l'explication. le d[illegible] de mélange des galets dans les buttes de *Bâle* est un fait qu'il est [illegible] nécessaire de rapprocher de divers autres documents contradic- [illegible], en apparence, mais qui cependant pourra, selon nous, re- [illegible] cevoir une explication toute naturelle.

H. 14. Ainsi, le long de la chaîne des *Vosges*, le comblement [illegible] alpin est recouvert par une nappe parfaitement raccordée de galets de cette chaîne. A l'amont de *Bâle*[1], les dépôts de la vallée de la *Birse* et des *Alpes* sont juxtaposés (pl. 1, fig. 5). Celui de la *Wiese* provenant de la *Forêt-Noire* est supérieur, ou, pour mieux dire, dans un encaissement ouvert dans le dépôt des Alpes (pl. 1, fig. 6) ; et ces dispositions prouvent évidemment que ces accumulations ne se sont pas produites sous l'influence de courants qui auraient favorisé le mélange de matériaux de diverses provenances, amenés sur un même point simultanément, ou tout au moins un mélange moins complet, mais partiel, si les courants avaient opéré successivement, par les remaniements inévitables qu'auraient subis les terrains meubles dans lesquels leurs lits se trouvent encaissés.

Moraine profonde des anciens glaciers du Rhin.

H. 15. Dans les dispositions générales du terrain et dans tous ces détails, on ne saurait méconnaître la *moraine profonde de l'ancien glacier* du Rhin, terrain évidemment erratique et qu'un im-

[1] **M. Daubrée**, Mémoire cité.

luents seuls ont pu produire et régler aussi
oints où se termine la nappe de cailloux des
limites extrêmes de la plus grande extension.
istence d'une masse de glace suffisante pour occu-
lée du Rhin, quand on examine sur une carte l'im-
ue de terrain compris dans ces bassins d'alimentation;
ne après l'époque pendant laquelle les *glaciers du Rhône*
aient la *Meyenwang* pour se déverser en partie dans le
de l'Aar, la mer de glace du Rhin était alimentée, savoir :

Mer de glace du Rhin alimenté.

1° Par les *glaciers du Rhin* et leurs affluents, à partir du *Saint-Gotthard* et des *Grisons;*

2° Par les glaciers de la *Birse* et du versant nord du *Jura;*

3° Par les *glaciers de l'Aar* et de la chaîne de l'*Oberland bernois*, entre les *Diablerets*, la *Jungfrau*, le *Finster-Aar*, le mont *Titlis*, le *Brunig* etc. etc. ;

4° Par les *glaciers de la Reuss*, des cantons de Lucerne, d'Unterwald, de Zug, de Schwytz et d'Uri etc. ;

5° Par les glaciers des *cantons de Saint-Gall*, de *Glaris* et d'*Appenzell*, et enfin par tous les affluents de ces glaciers principaux auxquels venaient se joindre ceux des *Vosges*, du *Schwarzwald* et d'une partie de la Souabe etc.

Pendant qu'une masse de glace aussi puissante occupait la vallée du Rhin, les affluents des deux chaînes latérales venaient se terminer contre ses rives élevées et ne pouvaient parvenir jusqu'à la moraine profonde, alors entièrement composée des matériaux entraînés des bassins supérieurs; relations qu'on observe dans les glaciers actuels, entre le *glacier de l'Aar* et ceux du *Thierberg* et du *Silberberg*, pour ne citer qu'un exemple, et ce n'est qu'à l'époque du retrait des anciens glaciers, la masse recouvrant le bassin diminuant progressivement, que les *glaciers des Vosges* et de la *Forêt-Noire* ont pu avancer davantage et étaler leurs moraines profondes sur la nappe partiellement découverte, et y ajouter une couche superficielle régulière et se raccordant par des plans inclinés à cette nappe principale: disposition entièrement différente de celle que les torrents auraient imprimée à ces remblais, qui seraient inévitablement disposés en *cônes de déjection*, s'ils avaient été transportés par les eaux.

Bâle.

A *Bâle* même on voit les indices d'un premier temps d'arrêt dans les hautes terrasses et dans les buttes de cailloux, à la formation desquelles le *glacier du Ballon* a évidemment contribué, et, à mesure qu'on remonte les vallées, on voit les dépôts de chacune d'elles s'appuyer contre le dépôt de la vallée principale, comme les moraines latérales au pied des *Abschwung*, lorsqu'elles forment les moraines médianes. Mais dans ces dernières la séparation des diverses branches finit par disparaître, par suite des mouvements de progression et d'ablation qu'elles subissent en suivant la marche des glaciers, et de l'influence des agents atmosphériques favorisant incessamment des déplacements, des chutes; tandis que sous la pression de la masse glacée, toute déviation, tout mélange deviennent impossibles, ou du moins les mélanges ne peuvent se faire que latéralement et suivant les surfaces de juxtaposition.

Quant aux matériaux, — et j'insiste sur ce point — *ils sont évidemment erratiques*, ils ont tous les caractères de galets façonnés par les glaciers; ils sont absolument semblables à ceux que l'on trouve dans les moraines anciennes non contestées, aussi bien que dans les moraines actuelles dans toute l'étendue des bassins supérieurs.

Absence des moraines frontales et des blocs erratiques.

H. 16[1]. L'absence de moraines frontales et de blocs erratiques est un fait qui s'explique encore. Lorsque les *glaciers monstres* avaient envahi toutes nos chaînes de montagnes et les contrées voisines, ils enveloppaient les plus hautes sommités et toutes les roches étaient couvertes; ils n'avaient alors ni moraines médianes ni matériaux quelconques sur leur dos (leur surface), et ne pouvaient créer des barrages marquant leurs stations, ou disperser des blocs pour fixer les limites de leurs rives; ces témoins irrécusables de l'extension des glaciers nous manquent ici, mais la moraine profonde, sur une immense échelle, est une preuve suffisante et tout aussi incontestable.

Entre Bâle et Neuf-Brisach les limites des eaux du Rhin sont marquées par des terrasses.

A l'époque[2] où toutes les hautes vallées étaient recouvertes de glace, au moment où le glacier se terminait au point où la ville de *Bâle* est située, le volume des eaux du Rhin était certainement

[1] D. A. J'ai fait quelques corrections au texte de l'ami **Hogard** de ce paragraphe, en ajoutant : «Glaciers monstres; toutes nos chaînes de montagnes; toutes les roches étaient couvertes; ni matériaux quelconques.»

[2] D. A. A l'époque où les glaciers des Alpes se terminaient à Bâle.

beaucoup plus considérable qu'il ne l'est aujourd'hui, et ses limites sont marquées par les terrasses ouvertes dans la portion du comblement, comprise entre *Bâle* et *Neuf-Brisach;* au delà de ce dernier point, l'inclinaison de la nappe se rapprochant de plus en plus de la pente maximum que le fleuve pouvait prendre, il a cessé d'encaisser son lit et il a pu exercer son action sur un terrain plus étendu et exécuter des remaniements, des atterrissements que l'on considère comme des *alluvions modernes.*

Alluvions.

H. 17. Mais ces alluvions ne représentent pas des dépôts récents et entièrement nouveaux, comme les cônes de déjection répandus sur les terrains erratiques anciens et modernes.

On sait que les eaux du Rhin sont chargées d'une quantité assez considérable de détritus, de boue glaciaire qu'il dépose sur les terrains submergés et sur les points où ses eaux peuvent séjourner ou couler très-lentement; et ces petits dépôts sont les seuls que l'on doive considérer comme des alluvions modernes. Quant aux atterrissements de sables, de menus graviers ou de galets, ils proviennent en totalité des anciens dépôts.

Le Rhin, à sa sortie du *lac de Constance*, à l'exception d'une très-faible partie de la *boue glaciaire*, n'est plus chargé d'aucune des matières plus lourdes qu'il entraîne dans ce vaste bassin; et *tous les cours d'eau qui s'échappent de la région des glaciers actuels rencontrent également des lacs* de Wallenstadt, de Zurich, de Zug, des Quatre-Cantons, de Brienz, de Thun, passages que les galets alpins ne sauraient évidemment franchir.

Les alluvions sont des débris remaniés du dépôt erratique.

Les galets, les sables, en un mot tous les matériaux dont se composent les prétendues alluvions modernes, sont donc les *débris incessamment remaniés du dépôt erratique* situé à l'aval de ces lacs, et ne constituent pas une formation nouvelle; et ces alluvions actuels sont au dépôt erratique ce que les couches des dépôts stratifiés attaquées par le Rhin sont aux couches placées en dehors de ses atteintes.

Mais s'il n'existe pas de dépôts récents et en voie continuelle de formation, qui donnent une idée en petit de ce que le Rhin, à une autre époque et avec une masse d'eau plus considérable, paraissait avoir exécuté plus en grand, comment pourrait-on encore lui attribuer la création d'un comblement général qu'un cours d'eau, et

quelle que fût sa puissance, ne produirait pas plus en franchissant les lacs qu'en remontant sur les plateaux situés entre l'*Ill* et le *Rhin*?

Les cours d'eau ne sont pas la cause du comblement du bassin du Rhin.

H. 18. Le cours d'eau actuel, pas plus que le courant diluvien, n'est donc pas la cause à laquelle la création du comblement du bassin du Rhin puisse raisonnablement être rapportée; ce que l'on observe ici n'a aucune analogie avec les faits que révèle l'observation du régime des eaux, tandis que l'on trouve à chaque pas l'identité la plus frappante, la plus complète, avec les résultats réels et parfaitement appréciables de l'action des glaciers actuels, dernières ramifications de l'ancienne mer de glace du Rhin.

Le lehm est la boue des anciens glaciers.

Le *lehm* est la *boue des anciens glaciers*, ainsi que **M. Édouard Collomb** l'a établi dans un mémoire inséré au *Bulletin de la Société géologique de France*, 2e série, t. VI, p. 497, séance du 7 mai 1849. De mon côté, j'avais émis la même opinion à l'égard de ces dépôts, dans mon *Mémoire sur le terrain erratique des Vosges*, antérieurement à la date du 27 septembre 1848, et, sur ce point, il paraît à peu près probable qu'on sera d'accord, puisque l'accumulation du lehm ne peut être attribuée qu'à l'action des eaux.

Il reste toutefois à rechercher dans quelles conditions elle a pu avoir lieu.

Francken à Mulhouse.

Le lehm recouvrant les sables et les galets est par conséquent la couche la moins ancienne du dépôt erratique; il existe en divers lambeaux aux pieds des deux chaînes et recouvre les plateaux de *Francken* à *Mulhouse*, à 100 mètres au-dessus du niveau de la nappe, et constitue sur la rive droite des collines ou mamelons isolés, qui atteignent quelquefois près de 100 mètres de puissance.

Lehm.

H. 19. Le *lehm* est un sédiment dont le dépôt n'a pu avoir lieu que dans les eaux parfaitement calmes; il ne s'accumule dans aucun des cours d'eau qui en sont chargés aujourd'hui, et rien dans le régime des rivières ne permet de supposer qu'il a été charrié dans la plaine du Rhin, où il aurait non-seulement recouvert les premiers atterrissements, mais encore produit un exhaussement tout à fait anormal dans le lit du Rhin et de ses affluents [1].

[1] D. A. Le lehm, boue glaciaire, en suspension dans l'Aar, qui inonde l'Aarboden en aval du glacier de l'Unteraar, se dépose sur les deux rives, et le torrent a une pente assez forte. Nous observons le même fait au Grimselboden, au Rœderichsboden et dans d'autres localités.

En le retrouvant à diverses hauteurs au-dessus du lit actuel du Rhin, on serait naturellement ramené à supposer de nouveau une inondation générale de toute la contrée, et à rétablir un grand lac occupant tout le bassin, quoique l'on n'aperçoive nulle part des traces du barrage nécessaire pour retenir les eaux et les faire refluer jusqu'aux sommités des prééminences du *Kaiserstuhl* et des environs de *Mulhouse;* car, si cette inondation paraissait impossible, il faudrait, à l'idée non moins inadmissible d'un courant passant à la côte 455 mètres et ayant une vitesse tellement considérable, que le lehm eût été entraîné au loin avec la plus grande masse du dépôt de comblement. Kaiserstuhl. Mulhouse.

Si l'on jette les yeux sur une carte géologique de la vallée du Rhin, on remarque tout d'abord l'absence du lehm dans toute l'étendue de la partie centrale du bassin, où cependant on devrait le retrouver, au moins sur quelques points isolés, surtout si la surface de la plaine se trouvait entièrement dressée et dégagée au moment où le dépôt de sédiment a eu lieu.

Nous ne trouvons aucune indication à cet égard : tout ce qu'on nous apprend, c'est que le lehm a été entraîné par les courants sortant des anciens glaciers, mais il n'est fait aucune mention du volume des eaux, de leur régime, de l'étendue du dépôt et de l'enlèvement de sa masse principale; les surfaces de terrain qu'il recouvre actuellement ne comprenant qu'une très-minime fraction de la surface totale du comblement.

Le lehm, formant de petits dépôts isolés, morcelés ultérieurement par les divers cours d'eau qui les traversent, s'est placé dans des lacs, dans des bassins séparés, diversement étagés et alimentés par les eaux des glaciers, pendant que le surplus du comblement était encore recouvert par les glaces : dans les environs de Mulhouse, par exemple, le terrain occupé par les glaciers est indiqué par la *nappe de galets de la Harth, les plateaux recouverts de cailloux des Vosges à Bâle*, par le *Folgensberg* et par la plaine stérile de l'*Ochsenfeld*.

Si le lehm avait occupé toute la plaine, et sur une épaisseur de 60 à 100 mètres, aussi bien que les points où il existe, on verrait infailliblement les traces du courant qui l'aurait balayé, en ouvrant des canaux, des fouilles d'autant plus profondes à la surface de la

nappe que sa force eût été plus considérable et proportionnée à la hauteur de la lame d'eau ; ce courant aurait dû au moins atteindre une partie du dépôt et une élévation de plus de 80 mètres au-dessus du niveau actuel du fleuve, à *Kembs*. Mais on chercherait inutilement le moindre indice de l'agent d'une aussi immense destruction.

Le grand glacier en se retirant laissait ce terrain à découvert et aux courants toute liberté d'action, et s'ils n'ont pas bouleversé la plaine de la Harth, dans laquelle on remarque des *sillons* formés par le faible cours d'eau sortant du front du glacier par exemple, c'est qu'ils n'étaient pas assez puissants pour l'atteindre et franchir les limites de leur plus grande extension, limites sur l'emplacement

Bâle à Neuf-Brisach.

desquelles les terrasses de *Bâle* à *Neuf-Brisach* ne laissent aucun doute ; et l'absence du lehm sur la partie centrale de la nappe prouve en outre qu'après la disparition de la mer de glace, les eaux du Rhin chargées de détritus glaciaires n'y sont parvenues à aucune époque.

Mulhouse.

Une coupe des divers dépôts superposés à Mulhouse par exemple (pl. 1, fig. 4), offre trois étages distincts, savoir : le comblement alpin, sous un comblement de galets vosgiens ; et enfin le lehm recouvrant ce dernier. J'ai cherché à expliquer le fait de la superposition des deux couches de galets, en insistant sur leur nivellement régulier, pour faire voir que le transport des matériaux dont elles se composent ne saurait être attribué à l'action de courants agissant alternativement ou simultanément : des nappes également bien dressées occupent le fond des hautes vallées des Vosges et supportent les *moraines frontales de Wesserling*, *d'Urbès* et de *Grüth* dans le bassin de la *Thur*, et il n'existe aucune séparation entre ces deux sortes de moraines formées *simultanément*, ainsi que je l'ai dit ailleurs.

Si l'on considère le lehm comme un dépôt appartenant à l'époque de la plus grande extension des glaciers des Alpes et correspondant chronologiquement aux premières moraines frontales des vallées vosgiennes, les comblements inférieurs de ces dernières, aussi bien que la nappe du bassin du Rhin consitueraient un dépôt de transport plus ancien, *un diluvium* qui aurait précédé l'apparition des anciens glaciers : et dans cette hypothèse on n'expliquerait nulle-

ment le fait de la *constante séparation* des nappes et de leur superposition à partir des bords du bassin, et encore moins la présence de la boue glaciaire dans toutes les parties d'un comblement qu'aurait précédé l'époque des glaciers.

Un diluvium plus ancien que les anciens glaciers [1] serait un fait aussi nouveau qu'inexpliquable : les *Alpes*, les *Vosges* et la *Forêt-Noire*, entièrement dépourvues de glaciers, sillonnées par des courants d'une puissance extraordinaire sortis de sources inconnues, n'ont conservé et n'offrent aucune trace de ces cataclysmes, tandis qu'à chaque pas on rencontre des preuves de l'*existence d'anciens glaciers*. Les nappes inférieures offrent d'ailleurs, à l'origine même des vallées aussi bien qu'à de grandes distances, non-seulement de la *boue glaciaire*, mais encore des *galets arrondis*, *polis* ou *striés*, et ayant toutes les formes que la glace seule peut imprimer aux matériaux soumis à son action.

Un diluvium plus ancien que les glaciers monstres est un fait aussi nouveau qu'inexplicable.

H. 19. Le *lehm du bassin du Rhin provient de ces anciens glaciers* et non des glaciers actuels, puisqu'il est situé hors de la portée des eaux qui coulent aujourd'hui dans un lit ouvert dans la nappe de comblement, à un niveau bien inférieur à celui qu'il atteint. Mais son dépôt a précédé de beaucoup l'époque pendant laquelle les premières moraines frontales de la vallée de la Thur, et les buttes de cailloux de Bâle, par exemple, se sont formées. Celles-ci appartiennent à la période de *décroissement* du glacier principal et de ses affluents qui, en se retirant, ont cessé de former la ceinture qui enveloppait le massif de collines de Mulhouse et de retenir les eaux dans le bassin où il s'accumulait et dont l'emplacement est marqué par le dépôt de lehm couronnant ces prééminences. A ce moment déjà la partie inférieure de la vallée était découverte, et il y a lieu de penser que les amas de lehm sont d'autant moins anciens qu'ils se rapprochent de l'amont, et que ceux des environs du lac de *Constance*, les derniers qu'on retrouve dans le bassin du Rhin, sont aussi les derniers qui se soient produits.

Le lehm du bassin du Rhin provient des anciens glaciers.

H. 20. Si nous examinons attentivement les dispositions du sol, les relations des divers dépôts, leurs formes extérieures, leur distribution, la nature et les matériaux caractéristiques qu'ils renferment, le régime des eaux et des glaciers, en un mot, si nous notons avec

Extension des glaciers de la Suisse et des Vosges.

[1] D. A. Glaciers monstres.

soin les causes et les effets qu'elles produisent réellement, nous arriverons sûrement à des conclusions entièrement opposées à celles que l'on a formulées jusqu'ici à l'égard du comblement dont il s'agit, et nous finirons par reconnaître que le Rhin exerce incessamment une action de destruction, moins grande aujourd'hui qu'à l'époque où il recevait une alimentation beaucoup plus considérable ; qu'il n'entraîne actuellement aucun débris des Alpes dans le bassin inférieur, séparé des hautes régions par des lacs profonds, enfin qu'à aucune époque il n'a pu avoir une masse d'eau suffisante pour atteindre les sommités entre *Bâle*, *Valdieu* et *Mulhouse*.

Extension des glaciers des Vosges

H. 21. La présence du *terrain erratique vosgien à Bâle* et sur les sommités du *Folgensberg* démontre que les glaciers des Vosges, pas plus que ceux de la Suisse, ne sont restés enfermés dans les hautes vallées des montagnes. La *moraine frontale de Wesserling*, considérée comme la limite de la plus grande extension des glaciers de la vallée de la *Thur*, est débordée cependant par une moraine latérale parfaitement caractérisée et qui existe, sur la rive gauche, entre *Saint-Amarin et Mosch*. La nappe profonde se prolonge sans interruption jusqu'au *comblement d'Ochsenfeld*[1] (pl. 2 ; fig. 6 et 7), quels que soient les étranglements de la vallée (fig. 8, 9 et 10, pl. 2). La vitesse d'un courant aurait inévitablement varié dans ces divers passages, ayant 300 mètres, 1600 à 4500 mètres de largeur, et les déjections, loin de former une nappe bien réglée, auraient pris les dispositions de la fig. 11, pl. 2, si différentes de celles que nous offre le terrain.

Dans la vallée de la *Thur*, des terrasses indiquent, comme dans le comblement du Rhin, les limites de l'ancien cours d'eau sortant du glacier. Entre ces terrasses parallèles supérieurement, le terrain accidenté conserve les traces évidentes de l'action des eaux. Mais nulle part on ne rencontre ces dispositions indiquées dans les écrits et dans les figures destinées à expliquer les retraites successives des rivières.

[1] D. A. A l'époque de la plus grande extension des glaciers des Vosges, certes la pen terminale ne se trouvait pas à la *moraine frontale de Wesserling*, ni entre *Saint-Amar* et *Mosch*, ni dans la *plaine de l'Ochsenfeld*. Les galets vosgiens à Bâle (H. 19) ne so pas tombés du ciel, et à Bâle, pas plus qu'ailleurs, les galets ne se forment pas da la terre comme les truffes. **M. de Saussure** (S. 219) dit : Les naturalistes savent bi que les granits ne se forment pas dans la terre comme des truffes et ne croissent comme des sapins sur les roches calcaires.

Nulle part on ne voit un terrain de comblement disposé comme dans la fig. 5, pl. 2, en terrasses parallèles et étagées, marquant des retraites successives et des sections régulières, comme on l'a dit et figuré. A cette coupe théorique et imaginaire, il faut substituer les fig. 1, 2 et 3 de la même planche, puisqu'elles font connaître, non ce que l'on suppose, non ce qu'il faudrait pour étager la théorie diluvienne, mais bien ce qui existe et le travail réel des cours d'eau, en un mot ce qu'il faut considérer quand on veut étudier les faits et en déduire des conséquences rigoureuses.

Le parallélisme des terrasses supérieures, les dispositions de leurs matériaux prouvent qu'elles font partie d'un seul et même dépôt, et non de déjections successives, partielles; l'irrégularité des terrains compris entre ces terrasses, révèle l'action des eaux à l'époque des plus grandes crues : sur tous les points qu'elles ont touchés l'harmonie du comblement a été troublée et détruite, et l'on observe un contraste frappant entre ces dispositions et celles des hautes terrasses; une seule et unique cause aurait-elle produit des effets aussi différents ?

Le parfait état de conservation des moraines frontales des *Vosges* et de la *Forêt-Noire*, ainsi que des *buttes de Bâle*, démontre clairement que les montagnes pas plus que les vallées n'ont été sillonnées ou parcourues par des courants diluviens, lorsque les anciens glaciers se sont retirés ; et le lehm ou la boue glaciaire se retrouvant dans toutes les parties de la nappe comme élément constitutif indiquant un *dépôt glaciaire*, ce serait à tort que l'on conserverait au comblement du Rhin la qualification de diluvium, et surtout de diluvium alpin antérieur à l'époque d'extension des glaciers, époque à laquelle il appartient incontestablement et qu'il n'a ni précédée ni suivie.

Bingen et Braubach.

Enfin, si le bassin du Rhin au-dessous de *Bâle* a pu être fermé sur un point quelconque, entre *Bingen* et *Braubach*, et être occupé par un immense lac, ce n'est assurément ni à l'époque de la formation du dépôt de comblement ni postérieurement.

Défilé de Bingen.

La nappe de comblement, à la vérité, est interrompue à l'entrée du *défilé de Bingen*, et elle disparaît dans tous les passages resserrés entre les escarpements bordant le Rhin et s'élevant contre ses rives; mais chaque fois que les montagnes s'écartent et laissent entre elles

dépôts appartiennent par conséquent aux terrains de transport, connus depuis longtemps sous le nom d'*alluvions anciennes* ou de *diluvium*.

Sans nous astreindre à l'ordre chronologique de ces deux sortes d'alluvions, nous allons nous occuper d'abord des actions dont le Rhin nous rend journellement témoins, avant de passer aux *alluvions anciennes;* car les faits actuels fournissent un terme de comparaison pour les phénomènes passés. Après avoir signalé la relation régulière qui existe entre le volume du Rhin et la température de l'air, nous examinerons quelques faits relatifs au déplacement du gravier et au volume du limon emporté par le Rhin, faits qui ne sont pas suffisamment connus.

Quant aux *alluvions anciennes*, nous ne les suivrons donc pas jusque dans l'intérieur des montagnes où se trouve leur point de départ, et où ces dépôts prennent des caractères particuliers qui appartiennent plus spécialement à ce que l'on a désigné sous le nom de *phénomène erratique*. D'ailleurs l'étude de ce phénomène dans les Vosges a été déjà l'objet de travaux importants, particulièrement de **MM. Renoir, Hogard** et **Collomb**; enfin, on doit à **M. Charles Martins** et à **M. Guyot** des observations nombreuses sur les dépôts du bassin supérieur du Rhin ; c'est donc au *diluvium* de la plaine et des collines adjacentes que se rapportent la plupart des observations consignées dans la seconde partie de ce travail. Pour ne pas répéter ce qui a déjà été dit dans divers mémoires, je me restreindrai à faire connaître sur le diluvium de la plaine des faits qui n'ont pas encore été décrits.

Relation de la température et du volume du Rhin, avec la température de l'air.

A. D. 2. La hauteur du Rhin, la température de l'eau du fleuve ainsi que la température de l'air, sont prises trois fois par jour au pont de Kehl. Afin de reconnaître plus facilement la relation qui existe entre ces trois éléments, j'ai construit les courbes qui expriment chacun d'eux pour l'année 1848 et le mois de janvier 184 (pl. I^re^, fig. 1^re^)[1]. Sur la ligne horizontale sont comptés les temps

[1] La ligne horizontale à partir de laquelle sont comptés les ordonnées qui mesurent volume du fleuve exprime le zéro du rhénomètre. En 1810, époque à laquelle on a pla ces échelles, on prit pour le zéro le niveau le plus bas dont on eût conservé le souveni mais dans le mois de janvier 1848 le niveau du fleuve s'est abaissé de 0m,58 au-desso de zéro. Déjà en février 1845, l'échelle avait indiqué 0m,30 au-dessous de zéro.

c'est-à-dire les différents jours de l'année; sur la verticale de chaque jour de l'année sont représentés la température de l'eau, celle de l'air et le volume du Rhin qui correspondent à ce jour[1]. En examinant ce tableau synoptique, on est amené aux conclusions suivantes :

1° Les élévations ou abaissements de température de l'air qui se prolongent dans le même sens pendant plus de deux jours, se font généralement sentir dans l'eau du Rhin. A quelques exceptions près, la courbe des températures de l'eau, soit en hiver, soit en été, présente toutes les inflexions de la ligne brisée qui exprime les températures de l'air; cette correspondance entre l'état thermométrique du fleuve et celui de l'air est bien plus sensible que l'on ne serait porté à le supposer au premier abord, à l'égard d'une grande masse d'eau telle que le Rhin. Cependant, au moment du dégel, la température du Rhin présente ordinairement une anomalie; alors le fleuve, refroidi sans cesse par l'affluence d'eau à zéro, ne s'échauffe pas avec la même rapidité que l'air.

Du commencement de février au commencement de novembre, la courbe de température du Rhin, considérée dans son ensemble, est au-dessous de celle de l'air; l'inverse a lieu dans la période d'hiver.

Depuis 1845, époque à laquelle remonte la série des observations de températures, le thermomètre plongé dans le Rhin n'a jamais été au-dessous de zéro, température à laquelle commence le charriage. Le maximum de température qui correspond au mois de juillet a été, pour la même période de temps, de 23 degrés centigrades.

2° Le volume du Rhin présente, ainsi qu'on le sait depuis longtemps, deux maxima assez réguliers : l'un de printemps, qui correspond à la fonte des neiges de la partie moyenne du bassin, l'autre vers le mois de juillet, qui coïncide avec l'action de la chaleur d'été sur les glaciers et les neiges des Alpes. Cette dernière crue, quelquefois très-forte, se remarque aussi dans les autres fleuves, tels que le Rhône, qui prennent leur source dans les hautes régions des Alpes. Si, au lieu de se borner à un aperçu d'ensemble, on examine toutes les inflexions de la courbe des volumes du fleuve,

[1] D. A. Voy. à la fin du mémoire le tableau des températures et des hauteurs du Rhin.

on reconnaît des rapports frappants entre cette ligne et les courbes de températures de l'air et de l'eau.

Pendant l'hiver, depuis le commencement de décembre jusqu'à la fin de mars, toutes les oscillations de température de l'air entraînent, pour le volume du fleuve, des oscillations *dans le même sens* que les changements du thermomètre ; l'influence de la température sur le volume se fait sentir au bout de deux jours, et quelquefois au bout d'un seul. Ce fait se conçoit facilement ; en hiver quand la température baisse, le fleuve perd de son alimentation puisqu'alors il pleut très-peu ; quant à l'eau qui peut tomber sou forme de neige, elle ne contribue pas immédiatement à le grossir Mais un réchauffement de l'air amenant, pendant la saison dont i s'agit, soit des fontes de neige, soit de la pluie, il n'est pas éton nant que les élévations de la courbe des températures et celle de l courbe du volume du Rhin, correspondent à très-peu près au mêmes ordonnées.

Pendant une grande partie de la période d'été, la température d l'air se reflète aussi avec assez de netteté dans le volume du fleuve mais les faits sont précisément *inverses* de ceux de la période d'hi ver, c'est-à-dire qu'en général les diminutions de température amènent immédiatement l'augmentation du Rhin et inversément Depuis la seconde partie d'avril jusqu'à la fin d'octobre, cette réci procité des deux espèces de courbes est fort sensible. Le fait don il s'agit est aussi facile à comprendre que la relation hivernale. E effet, d'une part un raffraîchissement de l'air est, pendant l'été d'ordinaire suivi de pluie qui enfle bientôt le volume du fleuve d'autre part, de grandes chaleurs correspondent à une absence d pluie, et par conséquent des chaleurs prolongées déterminent un baisse dans le régime des rivières, comme chacun le sait.

Ainsi, les deux influences qui agissent sur le volume du Rhi pendant la période estivale, savoir la fonte des neiges dans l hautes régions de la Suisse, et l'état climatérique de la part moyenne de son cours sont parfaitement mises en évidence par l courbes de températures, bien que ces deux influences se supe posent l'une à l'autre. On voit, il est vrai, l'*ensemble* de la cour des volumes s'élever vers le mois de juillet sous l'influence de fonte des neiges et des glaciers qui se fait dans les Alpes ; mais t

en s'élevant dans son ensemble, cette courbe des volumes présente diverses grandes inflexions, dont les maxima sont verticalement placés, à très-peu près, sous les minima des températures et inversément. On a eu des exemples très-frappants de cette correspondance le 4 et le 14 juin 1848 (fig. 1re). Les années exceptionnelles pour la hauteur de leurs crues sont donc celles dans lesquelles la fonte des neiges du haut du bassin arrive à la même époque qu'il survient dans la partie moyenne du fleuve un abaissement de température et des pluies; c'est ce qui vient d'avoir lieu en juin 1849.

Travail de destruction et de reproduction du fleuve.

A. D. 3. Le Rhin, de même que la plupart des cours d'eau à volume variable qui coulent entre des matériaux peu cohérents, modifie sans cesse les formes de son lit par des érosions sur certains points et par des atterrissements sur d'autres lieux.

Les causes d'où résultent l'instabilité du lit des rivières de cette catégorie, ont été exposées avec clarté par **MM. Legrom** et **Chaperon**, dans un mémoire relatif au Rhin[1], et il serait superflu d'y revenir, mais je dois ajouter quelques observations sur la structure des bancs que le fleuve dépose et sur le transport des cailloux.

Bancs ou îles.

Les proéminences de forme très-surbaissée que le fleuve crée dans son lit par suite du déplacement de son thalweg, et auquel on donne le nom de *bancs* ou d'*îles*, selon que leur niveau est inférieur ou supérieur aux eaux du fleuve, sont formées de cailloux mélangés de $^1/_4$, $^1/_5$ ou au moins $^1/_8$ de leur volume de sable. A l'amont, le banc a des pentes très-douces qui sont le plus souvent inférieures à un degré; à l'aval, au contraire, ils se terminent fréquemment par des talus rapides de 25 à 35 degrés. Les cailloux remontent doucement le plan faiblement incliné pour arriver à l'arête de séparation des deux surfaces qui plongent en sens inverse; alors ils tombent et sont bientôt recouverts par d'autres cailloux qui suivent la même marche. Les cailloux des bancs et le banc lui-même se déplacent donc suivant le même procédé que le fait au bord de la mer le sable des dunes sous l'impulsion du vent.

Disposition imbriquée des cailloux qui recouvrent une île.

Quand le banc ou l'île est composé de cailloux à sa partie supérieure, leur disposition présente un trait frappant, particulièrement vers l'amont du banc. Ils sont imbriqués les uns sur les

[1] *Annales des ponts et chaussées*, 1838.

autres, à la manière des écailles de poissons ou des tuiles d'un toit (pl. III, fig. 2). Les grands axes de ces cailloux, dont beaucoup se rapprochent de la forme d'un ellipsoïde aplati, sont normaux à la direction du courant d'eau qui les a apportés, ainsi que l'exprime le plan de la fig. 2. Il n'est pas rare de pouvoir suivre sur un même banc, au moyen de cet indice, cinq ou six directions de courants ou de contre-courants.

L'imbrication des cailloux ne s'observe pas à l'intérieur du banc de gravier, au moins dans toute l'épaisseur qui correspond à une crue unique ; car ce n'est que lorsque les eaux baissent que le courant pousse en avant les cailloux, de sorte que chacun de ces cailloux glisse à la surface de ceux qui se trouvent sur son passage, jusqu'à ce que l'impulsion ne soit plus assez forte pour le faire marcher; alors il s'arrête, mais d'autres galets viendront se poser sur celui-ci, comme ce dernier l'a fait à l'égard de ses devanciers. Les différents galets ainsi imbriqués à la surface d'un banc, lorsqu'ils sont aplatis en forme de disque, ont chacun leur grande section principale très-sensiblement inclinée par rapport à l'horizon ; cette inclinaison va à 15 ou 20 degrés.

Disposition du centre de gravité des cailloux imbriqués.

Quant à ceux de ces cailloux qui ne sont pas des ellipsoïdes de révolution, ils offrent aussi dans leur arrangement un caractère mathématique, bien qu'il ne soit pas aussi sensible à la première vue que le caractère de l'imbrication. Les cailloux irréguliers, tels que ceux dont le profil est indiqué par la coupe de la fig. 2, sont généralement placés de telle sorte que leur centre de gravité g soit plus près de l'avant que de l'arrière ; cela résulte de ce que la résistance due au liquide retarde plus la pointe du petit bout que le gros bout, dont la surface est moindre proportionnellement à sa masse. C'est d'après le même principe que le fer d'une flèche se dirige toujours à l'avant de la penne.

Transport de certains cailloux par projection.

Les cailloux, si on les considère isolément, ne se meuvent pas tous de la même manière; leur mouvement varie selon la grosseur et la forme du galet, selon la force et la direction du courant qui vient lui donner l'impulsion. La plupart des cailloux, de la grosseur d'un œuf de poule et au-dessus, s'avancent en suivant le fond du lit, soit en roulant, soit en glissant par saccades. Il n'est cependant pas rare que des cailloux de formes variées soient projetés comme des

palets, mais sans sortir du liquide, à plusieurs mètres de distance, probablement parce qu'ils sont emportés par des tourbillonnements. Aussi quand on passe à l'aval d'une rive en voie active de corrosion, le fond de la nacelle est souvent heurté fortement par le choc de ces cailloux, dans des parties où l'eau a plus de 2 mètres de profondeur.

Influence de la glace sur le transport des cailloux.

J'ajouterai qu'aux *usines de Hayange* (Moselle), où l'on recherche dans la Moselle de gros cailloux de quartz pour la fabrication de briques réfractaires, on a remarqué depuis longtemps que ces cailloux sont surtout abondants après les hivers pendant lesquels la rivière a gelé, et qu'ils sont au contraire rares les autres années. On voit journellement que les glaces s'élevant du fond (*Grundeis*) sont incrustées de cailloux, et c'est un mode de transport à ajouter à ceux qui ont été précédemment cités ; mais de très-petits cailloux seuls sont ainsi transportés, et l'effet observé résulte sans doute principalement de la force avec laquelle, lors du dégel, les glaçons battent les rives en brèche.

Lits successifs d'accroissement dans un même banc de gravier.

C'est particulièrement à la suite des crues que les bancs s'accroissent. Il est très-rare qu'une crue qui a amené du gravier sur une île, y dépose, pendant la même période, du sable pur ou du limon sableux, à moins toutefois que pendant ce laps de temps il ne se soit produit un changement notable dans la forme du thalweg. Ainsi, quand on trouve, dans la section d'une île, une succession de ces deux sortes de matériaux qui se poursuivent horizontalement sur quelques dizaines de mètres, on peut être à peu près sûr que ces dépôts ont été formés à la suite de crues différentes. — Mais lors même qu'un atterrissement ne contient que du gravier, ce qui est le cas le plus général, on peut encore compter très-approximativement le nombre des crues auxquelles il doit ses accroissements successifs ; car la surface d'un banc est toujours formée de gravier bien purgé de sable et de menus cailloux, tandis qu'au contraire le gravier situé au-dessous de cette croûte superficielle qui a été lavée, est toujours fort mélangé de menus débris. Il n'est pas besoin d'un œil bien exercé pour suivre les lits d'accroissements d'un banc, à l'aide des lignes de cailloux lavés. Dans la fig. 2, *a b* représente la surface du banc de gravier, avant le dépôt de la couche supérieure dont la superficie est *c d*. L'épaisseur du

dépôt de gravier formé dans une seule crue varie ordinairement de $0^m,15$ à $0^m,40$. — C'est d'après la considération précédente que l'on pourra souvent reconnaître si un dépôt formé par d'anciens cours d'eau a été charrié en une seule fois ou en plusieurs.

Apparition de la végétation sur les bancs de gravier.

Lorsqu'une île a dépassé la hauteur des eaux moyennes, les graines qui y ont été enfouies par le fleuve lui-même, commencent à y germer. Le sable, mélangé aux cailloux, sert de principal support à la végétation. Puis les eaux troubles qui passent à la surface de ces bas-fonds perdent de leur vitesse et y déposent un limon sableux dont l'épaisseur va annuellement en augmentant.

Dépôt de limon sableux.

Tel est, en général, aussi le procédé dont la nature s'est servie pour donner de la fertilité à des dépôts de gravier qui sont situés sur les rives des rivières ou des fleuves actuels, et qui ont été formés lors d'anciennes divagations de ces cours d'eau. Avant que le fleuve abandonne à peu près complétement un de ses domaines, il le recouvre à diverses reprises de ses inondations. Sans ces inondations subséquentes qui ont déposé du limon, les basses plaines de cailloux qui bordent le Rhin de Bâle à Mannheim, sur une largeur qui atteint sur quelques points 25 kilomètres, ces plaines, que nous voyons aujourd'hui pour la plupart très-productives, auraient été trop perméables pour permettre à la terre végétale de se fixer à leur surface; elles seraient restées à l'état de misérables landes.

Quand on veut resserrer par des travaux artificiels les divagations d'une rivière ou d'un fleuve, dans le but de cultiver les bancs de gravier qu'on lui soustrait, on suit le procédé naturel en permettant au fleuve, au moyen de saignées convenables faites dans ses nouvelles rives, de féconder par des alluvions le fruit sorti de son sein.

Absence de stratification dans le limon sableux.

Lors même que le limon superficiel est l'œuvre d'un grand nombre de crues, il est rare que l'on y observe la moindre trace de stratification. Les rides horizontales que ces dépôts limoneux montrent quelquefois sur leurs tranches, pourraient au premier abord être prises pour des indices de stratification; mais ce ne sont que d'anciennes lignes de niveau d'eau. En faisant ébouler des falaises de ce sable limoneux qui a été déposé par le fleuve à un grand nombre de reprises, ce n'est que rarement que l'on peut apercevoir dans

l'intérieur quelques indices de sédimentation, si ce n'est sur les points où une faible couche de végétation a eu le temps de se développer avant d'être recouverte. — On voit donc que l'absence de stratification dans le puissant dépôt du lœss de la plaine du Rhin ou dans certains limons diluviens, ne prouve pas qu'un tel dépôt ait été fait en une seule fois.

Rapidité de certains transports de cailloux.

Le transport des matériaux détachés d'une rive corrodée se fait quelquefois avec une grande rapidité. Des bras profonds de 10 mètres ont été comblés sur de grandes étendues dans l'espace de quarante-huit heures. Quand on enfonce la sonde sur un point où il s'opère de ces mouvements rapides de gravier, on rencontre un fond qui n'a pas la solidité d'un banc de gravier mis à sec, mais qui est peu cohérent, et dans lequel l'instrument pénètre avec facilité : cette circonstance résulte de l'agitation générale des cailloux. A la surface même de l'eau le travail de fond dont il s'agit s'annonce par un clapotage bien prononcé.

De l'usure journalière des cailloux.

Dans tous leurs mouvements individuels ou en masse, les frottements exercés par les cailloux les uns contre les autres détachent de ces derniers des parcelles ou grains de sable, et le volume de chaque galet va graduellement en diminuant. — Comme le Rhin coule, ainsi que la plupart des autres rivières, au milieu de matériaux qui ont été, pour la plus grande partie, transportés et arrondis à une époque antérieure au régime actuel, on ne peut constater facilement la rapidité de cette usure journalière. Cependant on reconnaît que des fragments de roche de dureté moyenne, abandonnés au cours du Rhin, sont bientôt arrondis. Ainsi, les vieilles briques de Bâle que l'on avait jetées en grande abondance dans le fleuve pendant l'été, après qu'on eut démoli la rue dite *Eisengasse*, furent retrouvées au mois d'octobre suivant à l'état de véritables cailloux dans des bancs de gravier qui en étaient tout rouges. Des libages de muschelkalk, qui servent à protéger les rives, sont quelquefois emportés par le Rhin, et on les retrouve échoués au milieu de gravier, partiellement arrondis, et souvent à l'état de très-gros galets qui sont complétement sphéroïdaux.

Voici plusieurs exemples qui montrent la nature de ce frottement journalier ; ils m'ont été communiqués par **M. Ledru**, ingénieur des ponts et chaussées, qui a eu aussi l'obligeance de me rendre attentif à certains autres faits relatifs au Rhin.

Corrosions profondes de pieux par le frottement de cailloux.

Des pieux de sapin qui avaient été enfoncés dans le Rhin au de Huningue en 1842, pour la défense des rives, en furent ex au mois d'octobre 1845. Ces pieux, dont la section était prim ment un carré de 4 décimètres de côté, portaient des corro profondes (fig. 3, *a b c d*), et ces corrosions s'élevaient jusq mètre et 1^{m},50 du fond de l'eau. Quelques-uns des pieux ét vers l'amont, rongés sur les deux tiers de leur section, et ce cailloux se trouvaient si solidement enchâssés dans les cavités avaient creusées, qu'il n'était pas facile de les en retirer. — par suite d'un frottement du même genre que les rochers de l pelle Saint-Roch, près d'Istein, qui sont baignés par le Rhin raissent avoir été arrondis et creusés jusqu'au-dessus du n des plus hautes eaux actuelles.

Autre exemple d'usure.

Un éclat d'obus, qui était probablement tombé dans le Rhi du dernier siége de Huningue en 1815, en fut retiré récemme était resté près de la ville, sa concavité tournée vers le Les angles de la cassure *a a' a''* (fig. 4), qui faisaient saillie v haut, avaient été arrondis et polis. La partie *b* de la calotte sphé sur laquelle il reposait, avait aussi subi une usure. Un boulet en fonte, dont la presque totalité était enchâssée dans un g que l'oxyde de fer avait agglutiné autour de lui, était fort aplati et poli, dans sa partie libre, en *a* (fig. 5). — La plupa cailloux du Rhin sont des quartzites très-durs, dont l'usur en général être moins rapide que celle qui vient d'être sig Cependant le bruissement très-prononcé que l'on entend sort zones de liquide situées à l'aval des rives fortement corrodées faire supposer que les frottements que les galets éprouve amoindrissent chaque jour.

Plusieurs formes de cailloux correspondent à des modes différents de frottement.

Les formes des cailloux, tout irrégulières qu'elles parai se rapportent à un certain nombre de types dont chacun corre à des modes d'usure différents; par un examen attentif, il souvent possible de faire, pour chacun d'eux, l'histoire des vements dans lesquels ils ont été usés. Les cailloux arrondis balancement dans les eaux de la mer ou des lacs se rappr habituellement plus du *type sphéroïdal* que les cailloux usé les eaux courantes; on ne trouve pas, dans les galets marin formes plates ou discoïdes en aussi grande abondance que d

gravier du Rhin. Aussi les cailloux qui constituent les poudingues tertiaires, ceux du grès vosgien, du terrain houiller etc. diffèrent par leur physionomie générale des galets des alluvions anciennes et modernes.

Dimension des plus gros cailloux charriés aujourd'hui.

En terminant ce sujet, je citerai quelques exemples de la force de transport du Rhin. Du côte de Kembs, on observe dans des bancs de gravier récents de gros galets sphéroïdaux d'un volume de 8 à 12 décimètres cubes, et d'un poids de 25 à 32 kilogrammes, qui par conséquent ont été déplacés par le fleuve actuel. Ce sont à peu près les plus gros que l'on rencontre vers le haut de la plaine. Or à Bâle, la vitesse moyenne du fleuve est de $2^m,25$ aux eaux moyennes, et de $4^m,16$ aux hautes eaux, d'après **M. Defontaine**[1].

Vitesse du Rhin à Bâle.

Les débris de toute espèce de roches qui sont entraînés dans le cours du Rhin peuvent être emportés à la longue, lors même qu'ils auraient des dimensions beaucoup plus fortes que la limite qui vient d'être signalée ; car ceux qui ne peuvent pas être charriés sont préalablement dégrossis sur place par le roulis des galets, jusqu'à ce qu'ils soient devenus transportables; c'est ainsi que des libages anguleux de muschelkalk, du volume de 20 décimètres au moins, et d'un poids de 50 kilogrammes, sont souvent arrachés lors des hautes eaux ; puis ils s'amoindrissent par l'usure et ils entrent alors en mouvement.

Quantité de limon charrié par le Rhin.

A. D. 4. Outre les sels que le Rhin tient en dissolution, il charrie presque sans cesse du limon ; la proportion de limon qu'il contient à Kehl varie par litre, d'après les déterminations que j'ai faites pour toute l'année 1848 et le commencement de 1849, de $0^{gr},005$ à 1 gramme, c'est-à-dire que l'eau renferme de 0,000005 à 0,001 de son poids de limon. — En connaissant le débit du fleuve correspondant à la hauteur moyenne de chaque jour, ainsi que la proportion journalière de vase qu'il renferme, on peut calculer approximativement la proportion de limon qui est emporté en 24 heures. De ce calcul, qui a été fait à partir du commencement de l'année 1848, sur des débits du fleuve évalués approximativement par **M. Ledru**, il résulte que la quantité totale de limon qui a passé à Kehl du 16 janvier 1848 au 16 janvier 1849, est de 1,122,455

[1] **Defontaine**, *Annales des ponts et chaussées*, 1833.

mètres cubes, c'est-à-dire égale au volume d'un cube de 104 mètres de côté. Le 15 et le 16 janvier 1849, cette quantité a atteint 118,321 mètres cubes par jour, volume d'un cube de 49 mètres de côté.

Rapport de ce volume à la superficie du bassin du fleuve.

Ce volume, tout considérable qu'il paraisse, est bien faible, rapporté à la superficie du bassin du fleuve. Le bassin du Rhin et des rivières qui arrivent au Rhin au-dessus de Kehl, est d'environ 380 myriamètres carrés. Mais le fleuve, ainsi qu'une partie de ses affluents, avant de quitter la Suisse, forment les lacs de Constance, de Zurich, de Lucerne, de Thun; l'eau sort clarifiée de ces divers bassins, de sorte que le limon qui arrive à Kehl ne peut provenir que de la superficie située à l'aval des lacs, superficie qui est de 176 myriamètres carrés. Le volume annuel de limon réparti uniformément sur la surface dont il peut provenir, formerait donc une pellicule d'environ $0^{mm},06$: pour un siècle, cette couche serait par conséquent de 6 millimètres. L'*ablation* annuelle du bassin, dans la région située à l'aval des lacs de la Suisse et à l'amont de Kehl, est donc en moyenne de $0^{mm},06$. Mais cette déperdition de matière solide ne se fait pas uniformément sur toute la surface d'un pays : les aspérités grandes ou petites et les parties situées dans le haut des vallées, sont plus activement dégradées que les plaines. Il est à observer d'ailleurs que les résidus de plantes qui, avec les détritus de la roche sous-jacente, composent la terre végétale, contribuent, mais pour une bien faible part seulement, à compenser la perte des régions élevées des continents.

Terrasses de gravier entre lesquelles le Rhin coule près de Bâle.

A. D. 5. A son entrée dans la plaine, aux environs de Bâle, le Rhin coule entre des terrasses formées d'un gravier de même nature que celui qu'il roule encore, mais qui est à une hauteur bien supérieure au niveau du fleuve actuel.

Les cailloux de ces terrasses se composent principalement de quartzite jaune et blanc, de roches schisteuses cristallines, de grès quartzeux à grains fins et très-compacte, de calcaire jurassique blanc ou noirâtre, de roches amphiboliques diverses, de granit, de serpentine, de porphyre et de quelques autres roches dont il serait trop long de détailler les variétés. Ces roches, en galets parfaitement arrondis, sont entremêlées uniformément, sur un tiers ou un quart de leur volume, de sable noirâtre, très-analogue à celui qui constitue la molasse dans une partie de la Suisse. Le tout assez

fréquemment cimenté par une faible proportion de carbonate de chaux, en un poudingue très-solide qui, s'il était vu isolé, paraîtrait se lier au nagelfluhe tertiaire plutôt qu'au diluvium.

Une certaine fraction de ces roches proviennent des Vosges, de la Forêt-Noire et du Jura; mais la plus grande partie sont d'*origine alpine.* Aux environs de Burgfelden, le gravier des Vosges est mélangé en très-forte proportion au gravier du Rhin; on y trouve de la syénite feuille-morte des ballons des Vosges, qui est si facile à reconnaître, du granit porphyroïde, des diorites et des porphyres rouges quartzifères qui proviennent très-probablement de la même chaîne. — Les cailloux les plus gros ne dépassent guère 35 sur 24 et 16 centimètres suivant les axes de l'ellipsoïde. Ils ne l'emportent donc pas sur les cailloux que le fleuve est encore susceptible de charrier. — Près de la surface, les cailloux sont en général moindres que dans le bas du dépôt; ils affectent souvent une stratification grossière. Du sable fin les recouvre sur $0^m,50$ à 2 mètres d'épaisseur.

Disposition en gradin de ces terrasses à la hauteur de Huningue.

La coupe transversale (fig. 6), faite à 2 kilomètres au-dessous de Bâle, près de Huningue, donne une idée de la disposition en *gradin* de ces anciennes terrasses de gravier.

La berge *a b*, haute de $6^m,50$ au-dessus de l'étiage, se compose, sur une hauteur de $4^m,50$, de gravier grossier; jusqu'à $3^m,50$ au-dessus de l'étiage, le gravier est réuni en un poudingue très-solide, d'apparence stratifiée; le gravier est recouvert par $1^m,50$ de marne sableuse un peu plastique; c'est le limon que le Rhin dépose journellement encore dans ses hautes crues. Les plus hautes crues connues s'élèvent d'environ $0^m,50$ au-dessus de la berge *a b* jusqu'en *n n'*.

Une seconde terrasse, *c d e*, de 6 mètres de hauteur, fait suite à une première : elle est formée des mêmes cailloux que celle-ci, entremêlés de plus d'un quart de leur volume de sable fin; c'est sur le prolongement de cette terrasse qu'est construit le village de Saint-Louis, près de la frontière de Suisse : les plus hautes eaux du Rhin n'en atteignent par conséquent que le pied. La surface, au lieu d'être plane et sensiblement horizontale, comme on l'observe ordinairement, s'élève insensiblement jusqu'à Burgfelden par une surface irrégulièrement ondulée. L'ondulation intermédiaire *e* n'est

autre chose que le prolongement d'une autre terrasse, moins distincte que celle de Saint-Louis, qui prend naissance dans Bâle.

C'est sur le prolongement de la terrasse supérieure *e f g* qu'est construit Burgfelden. Cette dernière plate-forme, dont le talus est de 20 degrés près du village, s'élève de 8 mètres au-dessus de la précédente, et de 19 à 20 mètres au-dessus des plus hautes crues connues.

Sur la rive droite, près de Weil et de Haltingen, on trouve une terrasse unique dont la hauteur au-dessus du Rhin est égale à la somme des hauteurs des trois terrasses de la rive gauche. La symétrie qui a dû exister d'abord dans la disposition des terrasses, n'existe plus toujours, le cours d'eau ayant pu en faire disparaître une ou plusieurs par des corrosions ultérieures.

Les talus des terrasses qui regardent le cours d'eau sont le plus ordinairement de 15 à 20 degrés, et quelquefois aussi moindres; ainsi le talus près de Burgfelden n'a que 12 degrés.

Les buttes de cailloux de la rive gauche du fleuve, dont il vient d'être question, sont faciles à poursuivre vers le sud jusque dans le faubourg de Bâle; mais là les trois terrasses se réunissent. Les dépôts élevés de gravier sur lesquels Bâle même est bâtie en sont la continuation, et la rapidité des pentes de certaines rues de la ville est due à l'érosion de ces terrasses. Dans Bâle même, d'après M. le professeur **Merian**[1], le gravier diluvien atteint 30 mètres au-dessus du Rhin, et hors de la ville il s'élève même au double de cette hauteur.

Terrasses des bords de la Birseg.

Le gravier diluvien est entaillé par la Birseg, au pied de Sainte-Marguerite, sur une hauteur totale d'environ 20 mètres. Cette hauteur est ici partagée en deux gradins symétriques, comme l'indique la fig. 7. Tous les cailloux, aussi d'origine alpine, sont mélangés dans leurs interstices de plus de la moitié de leur volume de sable. Le gravier inférieur est très-notablement plus gros que le gravier supérieur. Il est grossièrement stratifié et entremêlé de lits cimentés par de l'oxyde de fer brun.

Le diluvium est souvent peu puissant dans la partie méridionale de la plaine.

Par suite des inégalités du sol, le diluvium a une épaisseur très-inégale aux environs de Bâle. Sur quelques points sa puissance dé-

[1] **P. Merian**, *Ueber die Diluvialbildung der Gegend von Basel. Bericht über die Verhandlungen der naturforschenden Gesellschaft in Basel*, 1844, t. VI, p. 43.

passe 20 mètres[1], mais ailleurs il se réduit presque à zéro. — Ainsi, au fond du lit de la Birseg affleurent çà et là des marnes bleues tertiaires avec de grandes huîtres, telles que l'*Ostrea cristata* semblable à celle de Kolbsheim (Bas-Rhin), des *balanes*, des *pecten* et d'autres coquilles marines. Ces mêmes marnes ont été rencontrées à quelques mètres de profondeur dans l'intérieur de Bâle. A Huningue, en enfonçant des pieux dans le fleuve, on a aussi rencontré des marnes bleuâtres qui appartiennent au même terrain. Enfin, on voit affleurer, aux environs de Bellingen, les couches tertiaires. Le diluvium est donc en général moins épais dans la région méridionale de la plaine que vers le nord, aux environs de Strasbourg par exemple. — Le gravier diluvien va s'adosser, soit aux collines tertiaires et secondaires qui bordent la chaîne de la Forêt-Noire et celle du Jura, soit à ces deux chaînes elles-mêmes.

Poudingue de la colline Sainte-Marguerite et de Blotzheim.

A la colline Sainte-Marguerite près Bâle, à plus de 100 mètres au-dessus du fleuve, on trouve un poudingue mélangé de sable et très-solidement cimenté, qui appartient au diluvium ou au terrain tertiaire supérieur : il est recouvert par le lehm. Ce poudingue grossier se retrouve, avec les mêmes caractères, aux environs de Blotzheim (Haut-Rhin); outre les débris de quartzite, qui prédominent dans cette dernière localité, le poudingue contient de nombreux débris de calcaire jurassique blanc et de calcaire gris veiné de blanc. Le tout est cimenté très-solidement avec le sable de la molasse. Le diamètre des plus forts cailloux atteint souvent 20 centimètres. Le gros gravier, dont l'épaisseur est de 6 mètres, est recouvert sur un mètre d'épaisseur, par de petits cailloux de la grosseur d'une noix. C'est sur ceux-ci qu'est déposé le lœss. — La hauteur de la terrasse de gravier de Blotzheim, par rapport aux plus hautes eaux du Rhin dans le voisinage, ne dépasse pas 40 mètres; elle est donc beaucoup moins élevée au-dessus du fleuve que le gravier de Sainte-Marguerite. Cette terrasse supérieure continue à s'abaisser graduellement vers le nord. — Il n'y a pas lieu de s'étonner de voir le gravier diluvien du Rhin transformé en un poudingue fort solide; car cette soudure se poursuit journellement encore sur quelques points.

[1] **P. Merian**, Mémoire cité.

Continuation de la terrasse de Saint-Louis jusqu'aux environs de Neuf-Brisach.

Si l'on s'avance de Bâle vers le nord, en suivant la rive gauche du Rhin, on voit la terrasse de Burgfelden (*g h*, fig. 8 et 9, pl. II) perdre graduellement sa saillie et se fondre dans la plaine voisine à 7 kilomètres de son origine. Quant à la terrasse inférieure, celle de Saint-Louis (*c d e*, fig. 6, et *c d e f*, fig. 8 et 9), elle se prolonge très-distinctement vers le nord, en côtoyant le Rhin actuel à des distances variables, jusqu'au fort Mortier, près de Neuf-Brisach. La hauteur de cette terrasse au-dessus du fleuve qui, près de Bâle, est d'environ 8 mètres au-dessus des plus hautes eaux, décroît graduellement et finit par se réduire à peu près à zéro, c'est-à-dire que sa trace se perd aux environs de Biesheim, non loin de Neuf-Brisach, dans un gravier de très-peu supérieur aux plus fortes crues contemporaines. La longueur de la terrasse diluvienne, qui s'étend avec continuité de Bâle à Neuf-Brisach, est donc de 51 kilomètres.

Ligne de villages construits sur la limite de cette plate-forme naturelle.

Il est d'autant plus facile de suivre pas à pas la terrasse de la rive gauche dont il est question, que la plupart des villages voisins du Rhin ont été avec raison construits sur cette plate-forme naturelle, de manière à dominer la plaine submersible. — La route de Bâle à Neuf-Brisach, qui remonte à l'époque de l'occupation romaine, a aussi été établie sur cette longue plate-forme, à peu de distance de sa limite orientale. Voici les noms des villages et hameaux placés sur le bord de la terrasse de la rive gauche du Rhin depuis Bâle jusqu'à sa limite septentrionale : Saint-Louis, Michelfelden, Haberhæusel, La Chaussée, Richardshausen, Neuweg, Grand-Kembs, Niffern, Hombourg, Ottmarsheim, Bantzenheim, Rumersheim, Blodelsheim, Fessenheim, Balgau, Heiteren ; Neuf-Brisach est placé vers la limite de la terrasse.

Profil longitudinal de cette terrasse.

La fig. 8, dans laquelle l'échelle des hauteurs est égale à 50 fois celle des distances horizontales, résume le profil longitudinal des terrasses diluviennes de la rive gauche du Rhin, abstraction faite du dépôt le plus élevé, celui de Sainte-Marguerite et de Blotzheim.

a a' niveau des eaux moyennes du Rhin.

b b' niveau des eaux les plus hautes et des alluvions modernes.

Terrasse de la rive droite qui forme la contre-partie de la précédente.

c d e f, surface supérieure de la longue terrasse sur laquelle sont construits les douze villages entre Bâle et Brisach ; *g h*, niveau de la terrasse supérieure qui supporte Burgfelden. Cette dernière terrasse est longue d'environ 6 kilomètres. — Le lit de la Birseg en-

taille tout ce dépôt diluvien un peu au sud de l'endroit où la terrasse supérieure prend naissance. — La rive droite du Rhin présente une ligne de terrasses qui forme la contre-partie du rideau de la rivière gauche. La hauteur des deux terrasses, prise dans une même section normale au cours du fleuve, est sensiblement la même sur les deux rives ; seulement il arrive que l'une d'elles se dédouble sur quelques points en deux gradins, sans que l'opposé présente le même accident ; c'est un fait dont il est facile de se rendre compte. — Une ligne de villages badois est construite sur cette terrasse dans une position toute semblable à celle des villages français ; ce sont : Weil, Eimeldingen, Kirchen et Effringen, point où le dépôt s'arrête à ce promontoire de calcaire jurassique dont le Rhin baigne le pied; puis au nord de ces collines, la même terrasse reprend et supporte les villages de Schliengen, Steinenstatt, Neuenburg, Zienken, Griesheim, Hartheim et Hochstetten. Après s'être graduellement abaissée, la terrasse disparaît près du massif volcanique du Kaiserstuhl, précisément vis-à-vis de la limite de la terrasse française. — Entre Steinenstatt et Hochstetten, c'est-à-dire sur une longueur de 25 kilomètres, le Rhin actuel baigne immédiatement ou presque immédiatement le pied de la terrasse de la rive droite. La fig. 9 montre la disposition des deux longues terrasses dont il vient d'être question. — Les fig. 10 et 11 représentent d'une manière générale la section transversale, et la position des villages énumérés plus haut; *n n'* est le niveau que le Rhin atteint lors des plus hautes crues qui baignent les maisons inférieures de Kembs. Le dépôt limoneux qui est formé par les alluvions modernes du Rhin étant d'un niveau supérieur aux eaux moyennes, est avantageusement cultivé.

Absence des terrasses semblables dans le nord de la plaine du Rhin.

Les deux longues terrasses entre lesquelles le Rhin fait son entrée dans la plaine comprise entre les Vosges et la Forêt-Noire, et qui forment comme la continuation de celles de la haute vallée du fleuve[1], disparaissent sans retour à la hauteur du Kaiserstuhl et de Fort-Brisach. A l'aval, c'est-à-dire au nord de ces deux points jusque vers Mannheim, nulle part je n'ai vu de terrasses formées par

[1] Ch. Martins, *Sur les formes régulières des terrains de transport des vallées du Rhin antérieur et postérieur.* (*Bulletin de la Société géologique de France*, t. XIII, première série, p. 332.)

l'*ancien gravier du fleuve*. — Le gravier du Rhin ne s'élève qu'insensiblement et d'une très-faible quantité au-dessus des plus hautes eaux actuelles. Aux environs de Strasbourg par exemple, on trouve du gravier alpin dont le dépôt remonte sans aucun doute à une époque antérieure à l'époque actuelle, puisqu'il est recouvert par le lœss. Or la surface du gravier ancien qui supporte une couche épaisse de limon diluvien, a le même niveau que les alluvions modernes. — Ce dernier fait montre que le puissant dépôt de gravier de la plaine, bien qu'il soit susceptible d'être recouvert par les alluvions modernes, doit être considéré comme ayant été charrié, pour la plus grande partie, à une époque antérieure au régime actuel. Ceci est particulièrement certain pour le gravier qui se trouve au-dessous d'une profondeur de 8 ou 10 mètres.

Autre origine des terrasses qui bordent le Rhin dans la partie septentrionale de la plaine.

On remarque, il est vrai, encore le long du fleuve, par exemple à Münchhausen, entre Seltz et Lauterbourg, des terrasses formées de limon et de sable avec cailloux que l'on a assimilées aux terrasses de la haute vallée du Rhin, mais elles sont d'une autre nature. — Ces terrasses ou collines qui forment une bordure le long des alluvions modernes, consistent, soit en lœss alpin, comme on l'observe de Strasbourg à Reichstett (fig. 12), de Weyersheim à Gries, ou près de Motheren et de Münchhausen, soit en sables et argiles de l'époque tertiaire supérieure et en gravier charrié des Vosges ou de la Forêt-Noire, comme entre Bischwiller et Seltz.

De la plaine comprise entre les deux terrasses méridionales.

Entre les deux longues terrasses qui s'étendent à l'aval de Bâle est comprise une plaine extrêmement unie (fig. 9), large de 3 à 7 et moyennement de 4 kilomètres, dans laquelle le Rhin se démembre en de nombreuses ramifications; c'est aussi dans ce *Rieth* qu'ont eu lieu toutes les divagations du fleuve, depuis les temps historiques et même depuis qu'il a pris son régime actuel; mais jamais il n'a dépassé les deux digues que lui-même il s'est tracées en creusant son lit. — En une multitude de localités, et à 2 ou 3 kilomètres du thalweg actuel, on trouve des sillons tortueux qui ont été si évidemment le lit d'anciens bras du Rhin, et que les habitants du pays reconnaissent immédiatement pour tels; quelques-uns de ces bras du Rhin, bien qu'entièrement séparés aujourd'hui du fleuve, sont encore arrosés par de petits cours d'eau qui y prennent naissance par des infiltrations souterraines.

A Rheinweiler et à l'amont de ce village, près de Bamlach et de Bellingen, le gravier ancien du Rhin est superposé à la molasse tertiaire qui affleure sur plus de 2 kilomètres le long du fleuve. Vers son contact avec le terrain tertiaire, le gravier renferme beaucoup de gros blocs de grès molasse et de nagelfluhe, les uns anguleux, les autres légèrement arrondis. Ces blocs, d'un volume de 10 à 15 décimètres cubes, sont enfouis au milieu de cailloux arrondis, à 2 mètres ou $2^m,50$ de hauteur au-dessus de la couche dont ils ont été détachés ; quelques-uns reposent encore sur le grès molasse, comme s'ils n'avaient été que faiblement remaniés. La surface du grès molasse a été très-inégalement labourée, ainsi que le montre la coupe faite dans le village même de Bellingen (fig. 13) : A, grès molasse; B, couche de cailloux d'une épaisseur qui varie de $0^m,30$ à plus de 8 mètres ; elle renferme de gros blocs *a* anguleux ou peu arrondis du grès sous-jacent ; la plupart de ces blocs sont à peu de distance de la roche dont ils ont été détachés. C, limon sablonneux, renfermant beaucoup de cailloux, dont l'épaisseur atteint 6 mètres. Il est à ajouter que le gravier dont il est question s'élève aujourd'hui au moins à 6 mètres au-dessus des plus hautes crues du Rhin, il est par conséquent antérieur au régime actuel. A l'aval de Bellingen, on peut poursuivre la relation du terrain tertiaire au diluvium, qui vient d'être indiquée, sur une assez grande distance. En général, le gravier est plus grossier vers le bas que vers le haut, et jusqu'à un mètre de distance du terrain inférieur, il est entremêlé de beaucoup de blocs.

Relation du diluvium avec la molasse tertiaire sous-jacente.

A 600 mètres environ au sud de Bellingen, le gravier incohérent passe graduellement à un poudingue très-résistant, dont l'aspect rappelle tout à fait le nagelfluhe tertiaire, à cette différence près, que les cailloux quartzeux prédominent dans le poudingue diluvien. Ce poudingue est assez solide pour former une corniche (fig. 14) de 2 mètres d'épaisseur et de $3^m,50$ de saillie, au pied de laquelle le fleuve bat en brèche sans la démolir rapidement. A, grès molasse; B, poudingue diluvien empâtant des blocs *a* de molasse comme il a été dit précédemment. — A Bâle, on voit dans le Rhin même un conglomérat très-solide aussi, qui s'est formé au pied d'une tour construite au quatorzième siècle.

Solidité du poudingue diluvien de Rheinweiler.

Infiltration ferrugineuse dans le diluvium.

Non loin de Hochstetten, à 3 kilomètres au sud de Vieux-Brisach, le gravier est agglutiné près de la surface du sol par l'hydroxyde de fer jusqu'à une profondeur qui varie de quelques décimètres à 1m,50. La disposition ramifiée de ces veines jaunes à partir de la surface, montre clairement que l'oxyde de fer s'est infiltré de haut en bas. C'est sans doute une formation analogue à celle du minerai de fer des marais, dont le point de départ a été probablement le sable basaltique du Kaiserstuhl. Au-dessous du dépôt ferrugineux sont des incrustations calcaires.

Corrosions des rochers calcaires d'Istein.

Les rochers de calcaire jurassique qui forment une falaise verticale le long du Rhin, non loin d'Istein, au-dessous de la chapelle Saint-Roch, présentent une surface corrodée qui s'élève à plusieurs mètres au-dessus des plus hautes eaux actuelles; cette corrosion, qui paraît due à l'action des eaux, correspond sans doute à l'époque diluvienne. On observerait peut-être ces traces d'usure à un niveau plus élevé encore, si les rochers n'avaient pas subi de destruction depuis le diluvium.

Absence de blocs alpins aux environs de Bâle.

Nulle part, dans les terrasses de la plaine du Rhin, je n'ai trouvé de blocs erratiques comme on en rencontre dans le bassin du Rhône aux environs de Lyon. Cette absence concorde avec l'observation faite par **M. Guyot**, que les blocs erratiques du bassin du Rhin ne dépassent pas l'Alpe du Wurtemberg[1]. On ne trouve dans ces terrasses que des cailloux qui seraient facilement transportables par le Rhin actuel.

Pente de la surface des terrasses diluviennes du Haut-Rhin; considération qui en résulte.

La pente des deux plates-formes de gravier qui s'étendent de Bâle à Brisach, au lieu d'être uniforme, diminue rapidement de l'amont vers l'aval; la courbure de leur profil ressemble à une cycloïde très-aplatie, dont l'axe serait horizontal et la concavité tournée vers le ciel. Il est facile de calculer la pente moyenne de ces plates-formes, leur hauteur au-dessus du Rhin près de Bâle étant de 30 mètres, et la distance de Bâle à Brisach de 51 kilomètres. L'inclinaison moyenne de cette surface est de 0,00058 par rapport au lit actuel du fleuve; par rapport à l'horizon, l'inclinaison de la même surface est de 0,00127 ou de 4 minutes 14 secondes. — Cette dernière valeur doit représenter approximativement la pente du cours d'eau *final*, qui

[1] **Guyot**, *Note sur le bassin erratique du Rhin* (*Bulletin de la Société des sciences naturelles de Neufchâtel*, mai et décembre 1845).

a coulé sur la surface des terrasses avant de s'y creuser un lit plus profond. La pente dont il s'agit, quoique inférieure à celle de beaucoup de petites rivières, telles que la Zorn[1], est plus forte que celle de presque tous les grands cours d'eau qui coulent hors des montagnes : la pente du fleuve Saint-Laurent, entre le Saut du Niagara et le lac Ontario, est, il est vrai, supérieure de 1 minute 4 secondes à celle de l'ancien cours d'eau précurseur du Rhin actuel, mais il importe d'observer, comme différence essentielle, que le fleuve américain, au lieu d'avoir un lit mobile, coule sur des roches plus ou moins solides. Si l'on juge du régime du cours d'eau dont nous venons d'étudier l'ancien lit conformément aux lois d'après lesquelles les rivières étendent aujourd'hui leurs atterrissements, nous sommes amenés à conclure, contrairement à la première impression que produisent les imposantes terrasses diluviennes, que le cours d'eau final auquel elles doivent le *modelé de leur surface supérieure* aux environs de Bâle, quoique ayant une pente supérieure à celle du Rhin actuel, avait une vitesse inférieure ou au plus égale à celle de ce fleuve. L'influence d'une plus forte pente du sol était sans doute rachetée par une moindre profondeur, parce que cet ancien courant s'étendait sur une largeur de plus de 10 kilomètres, au lieu d'être concentré comme il l'est aujourd'hui dans un lit unique. Il faut bien observer que cette déduction s'applique seulement à la dernière phase du dépôt qui nous occupe ; phase qui peut avoir été précédée par le passage de violents cours d'eau.

Basse plaine du Rhin du Kaiserstuhl jusqu'à Mannheim.

Au-dessous du Kaiserstuhl, la basse plaine du Rhin ou *Rieth* présente dans toute son étendue une uniformité frappante, si l'on fait abstraction des rigoles naturelles ou artificielles qui la traversent ; car, sur une largeur habituelle de 20 à 30 kilomètres, elle ne dépasse pas le niveau le plus élevé que le Rhin ait atteint dans le voisinage depuis les temps historiques. Quelque peu élevée que soit cette plaine au-dessus du niveau du fleuve, beaucoup de villes et de nombreux villages y sont établis. Le sol de Strasbourg, par exemple, sur plus des 9/10 de sa superficie, serait submersible, si rien ne mettait obstacle aux eaux du Rhin.

[1] Voy. le tableau des pentes placé à la suite du mémoire sur l'Etna, de **M. Élie de Beaumont.** *Annales des mines*, 3e série, t. X, p. 573.

On considère habituellement l'Ill, rivière qui coule dans cette plaine à quelque distance du Rhin, comme ayant un bassin distinct de celui du fleuve. Cependant, lors de l'inondation de 1480, l'une des plus fortes dont on ait conservé le souvenir, le Rhin se réunit à l'Ill dans la haute Alsace, et l'on pouvait se rendre en barque de Rouffach et d'Ensisheim à Neuf-Brisach, c'est-à-dire que le fleuve s'étendait à 20 kilomètres sur la gauche de son thalweg. Comme l'écoulement des eaux est maintenant facilité par des draguages et par des canaux de communication avec le Rhin, on peut espérer ne plus voir revenir de crue aussi haute ; mais, quoique habituellement à sec, la plaine qui s'étend aux environs de Colmar et au-dessus, est à considérer comme alluvion moderne du Rhin.

Divagations nombreuses du Rhin depuis les temps historiques.

A. D. 6. Les divagations que le Rhin a faites dans cette large plaine depuis les temps historiques, tant à droite qu'à gauche de son cours actuel, sont nombreuses et étendues. Voici les résultats de quelques renseignements dont je dois une partie à l'obligeance de M. le professeur **Strobel.**

La butte basaltique de Vieux-Brisach, une des dépendances du massif volcanique du Kaiserstuhl, aujourd'hui située complétement sur la droite du fleuve, faisait partie de l'Alsace du temps des Romains. Au dixième siècle, le fleuve l'entoura de tous côtés; au commencement du treizième siècle, le Rhin la sépara entièrement

1295. de sa première partie, en laissant la colline à sa droite. En 1295 la colline était redevenue une île avant que le fleuve adoptât définitivement sa position actuelle. Il est très-facile de reconnaître au pied du Kaiserstuhl, non loin d'Ihringen, une large rigole qui représente le lit desséché d'un ancien bras du fleuve.

L'emplacement primitif de Kuenheim, village situé à 6 kilomètres au nord de Neuf-Brisach et à 3 kilomètres du thalweg, a entièrement disparu.

1398. Au seizième siècle, le Rhin a commencé à envahir la place où était située l'ancienne ville de Rhinau; déjà en 1398, un couvent, situé sur les bords de ce fleuve, avait été englouti.

Le récit qu'a fait l'historien **Ammien Marcellin** de la bataille livrée en 357 aux Allemani[1], par l'empereur Julien, aux environs de

[1] Mémoire inédit de **M. Geoffroy Schweighæuser.** Voy. aussi **Kentzinger**, *Strasbourg et l'Alsace*, p. 44.

Strasbourg, n'est bien compréhensible que si le Rhin coulait alors *près de* Strasbourg, probablement non loin des collines de Schiltigheim, c'est-à-dire près de 4 kilomètres du thalweg actuel; l'embouchure de l'Ill devait donc être fort rapprochée de Strasbourg, et probablement se trouvait en amont de cette ville. Le *Rhin tortu* (*krumme Rhein*) n'est autre chose qu'un des anciens bras du Rhin qui remonte à l'époque à laquelle le fleuve coulait sur l'emplacement actuel de la ville.

Une modification identique à celle que nous reconnaissons avoir eu lieu à la hauteur de Strasbourg, pour le Rhin et l'Ill, à une époque vaguement connue, s'est faite dans ce siècle même à l'amont de Fort-Louis. Le thalweg du Rhin près de Dalhunden était, en 1808, à 4000 mètres à l'ouest du thalweg actuel. La *Moder* se jetait alors dans le fleuve à peu de distance de Dalhunden. Mais depuis ce temps le Rhin a reculé son lit vers l'Est, la Moder suit, à partir de son embouchure de 1808, l'ancien lit du Rhin que ce fleuve lui a abandonné, et elle se jette plus bas dans le fleuve, après avoir parcouru, au delà du confluent du commencement de ce siècle, un trajet qui, en ligne droite, est de 9500 mètres, et qui, suivant les sinuosités du thalweg, a à peu près le double. Parmi les changements survenus dans le lit du Rhin pendant ce siècle, il n'y en a peut-être pas de plus considérable que celui qui vient d'être signalé. 1808.

Le couvent de Honau, situé à 9 kilomètres au nord de Kehl, dont l'emplacement est sur la droite et à 1400 mètres du thalweg actuel, avait tiré son nom de l'île sur laquelle ce couvent fut établi au commencement du huitième siècle. Un village du même nom, qui s'était établi postérieurement dans cette île, fut enlevé par le Rhin au treizième siècle, et bientôt après, le couvent éprouva le même sort. VIII^e siècle. XIII^e siècle.

L'emplacement où était située la ville romaine de Saletio, aujourd'hui Seltz, a été emporté par ce fleuve.

Au-dessous de Seltz et de Rastatt, le Rhin a divagué dans une plaine comprise entre deux terrasses parfaitement prononcées; la largeur du bassin du Galgenbuckel, près Seltz et Rastatt, est de 7^{kilom},3, et un peu en amont de Lauterbourg ce même bassin atteint 9 kilomètres.

1652. Près de Daxlanden, non loin de Carlsruhe, le thalweg actuel est à 3 kilomètres du thalweg de 1652.

VI^e et IX^e siècle. Les variations que le Rhin a éprouvées entre Spire et Worms, du sixième au neuvième siècle, ont été décrites avec beaucoup de détails dans un mémoire de **M. Mone**[1]. Pendant une partie de ce laps de temps, le thalweg du fleuve était distant du thalweg actuel de plus de 8 kilomètres vers la droite; car au huitième siècle et au commencement du neuvième, il n'était qu'à quelques centaines de mètres d'Oggersheim et de Frankenthal. A une époque plus reculée, le Rhin paraît même avoir baigné les collines des environs de Dansstatt, Schauernheim, Furgheim, Lambsheim et Niedesheim; il était alors éloigné d'environ 12 kilomètres de la position qu'il occupe aujourd'hui.

Enfin, d'après **Tulla**, le Rhin, depuis l'époque romaine, aurait coulé devant Ettlingen, Bruchsal et Durlach, le long des montagnes de ce prolongement de la Forêt-Noire; cependant je dois ajouter que les raisons données par cet ingénieur distingué à l'appui de son opinion, dans les préliminaires de son important mémoire sur la rectification du Rhin[2], ne me paraissent pas concluantes; car rien ne montre que les vestiges bien positifs de l'ancien lit du Rhin dont il s'agit, ne soient pas antérieurs aux temps historiques.

Effectivement, des changements beaucoup plus nombreux encore que ceux dont les archives de l'histoire ont conservé le souvenir, mais qui cependant ne remontent pas antérieurement à la période actuelle, sont indiqués dans la plaine par des sillons qui représentent d'anciens bras du fleuve. Le gravier qui constitue cette plaine sur une largeur de 18 à 40 kilomètres, a été remanié, soit antérieurement, soit postérieurement aux temps historiques, lors des divagations du fleuve qui ont précédé la concentration de ses eaux dans le lit qu'elles occupent aujourd'hui. C'est donc à juste titre que toute cette plaine a été coloriée comme alluvion moderne sur la carte géologique de France de **MM. Dufrénoy** et **Élie de Beaumont**.

[1] *Badisches Archiv zur Vaterlandskunde*, t. I^er, 1826.

[2] *Ueber die Rectificationen des Rheins*, 1825, et un autre travail antérieur sur le même sujet.

Les terrains tourbeux qui bordent la basse plaine du Rhin et quelques-unes des rivières voisines, ont commencé à se former depuis que les eaux occupent à peu près leur niveau actuel. Cependant dans les tourbières de Bischwiller, on a trouvé une *tête d'aurochs*, ce qui paraît annoncer que certains changements sont encore survenus depuis lors dans la population animale du pays.

Toutes les divagations dont il vient d'être question ont eu lieu sans que le niveau général du lit du Rhin ait sensiblement varié; car le terrain tertiaire près de Bâle et le schiste de transition près de Bingen, qui l'un et l'autre se montrent à nu au fond du Rhin, constituent deux repères qui annoncent que le fleuve n'a pas exhaussé son lit dans ces points extrêmes. D'un autre côté, si le lit du Rhin avait été creusé, c'est-à-dire si ce lit avait été seulement de 2 mètres plus élevé à ses eaux moyennes pendant la période romaine, les nombreuses villes de la plaine, telles que Seltz, n'auraient pas été habitables. Ainsi le Rhin, depuis qu'il a à peu près fixé la forme de son lit dans le sens vertical, a continué à faire des divagations considérables suivant la projection horizontale, et aujourd'hui encore ses excursions seraient bien plus grandes si des travaux d'art n'y mettaient obstacle. Telle est d'ailleurs l'histoire générale des cours d'eau.

Non-seulement le gravier de la plaine pris loin du lit actuel du Rhin ne dépasse pas en grosseur celui que le fleuve roule dans le voisinage, mais il est même à remarquer que dans cet ancien gravier les gros cailloux ne sont ni aussi volumineux ni aussi communs que dans le Rhin; cette différence tient sans doute à ce que le courant actuel, en raison même de son rétrécissement, est plus rapide que celui qui a présidé à la formation de la plus grande partie de la plaine, ce qui est d'accord avec l'observation faite plus haut sur les anciennes terrasses des environs de Bâle.

Limon qui recouvre généralement le gravier.

Dans toute la plaine dont il s'agit, le sous-sol est formé de gravier; ce gravier est recouvert, sur une épaisseur de $1^m,10$ à $1^m,50$, de limon sableux qui a été apporté par les crues, et qui, minéralogiquement, ressemble au lœss. C'est ce limon qui forme la base de la terre végétale; de la grande inégalité de sa répartition résulte la principale différence que l'on observe dans les qualités des terres végétales de la basse plaine.

Or du Rhin.

A. D. 7. L'or, sous forme de petites paillettes, est disséminé dans tout le gravier de la plaine du Rhin, même en dehors du lit actuel; cet or provient sans doute des Alpes où il se trouvait disséminé dans des quartzites, et peut-être aussi dans des roches amphiboliques. Après les détails que j'ai donnés ailleurs à ce sujet, il n'y a pas lieu de s'en occuper ici[1].

Disposition des alluvions anciennes qui bordent les affluents du Rhin.

Les terrasses qui bordent le cours supérieur du Rhin ne sont pas particulières au fleuve; la plupart des rivières qui y affluent du Jura, de la Forêt-Noire ou des Vosges sont aussi bordées en dehors des montagnes, comme dans le haut de leur cours, de terrasses qui se relient à celles du Rhin.

Le long de la Byrse, qui descend de la chaîne du Jura et qui se jette dans le Rhin près de Bâle, les terrasses des environs de cette dernière ville, au lieu de se composer de débris alpins, sont au contraire presque entièrement composées de calcaire jurassique, comme le gravier que cette rivière charrie encore dans le haut de son cours; un très-petit nombre de fragments de quartzite et de schiste amphibolique sont mélangés aux débris calcaires. Si d'ailleurs on remonte la Byrse dans l'intérieur de la chaîne du Jura, on voit cette rivière bordée aussi de terrasses de calcaire jurassique. A la gravière Saint-Jacques, on trouve vers le bas de gros cailloux dont le diamètre est moyennement d'un décimètre, mais qui quelquefois atteint 3 décimètres. Au-dessus du gros gravier est une couche de $1^{m},50$ d'épaisseur, formée de cailloux moindres, qui ont en moyenne la grosseur d'une noisette.

Superposition du gravier jurassique au gravier alpin près de Bâle.

A 800 mètres au nord de la gravière précitée, et à 1800 mètres environ du Rhin, on voit, dans une seconde carrière, la superposition du gravier jurassique au gravier alpin; ce dernier, entaillé sur une épaisseur de 4 mètres, renferme des quartzites, du schiste talqueux et très-peu de calcaire; certains cailloux atteignent jusqu'à 3 décimètres de diamètre. Au-dessus repose une couche de cailloux de calcaire jurassique jaunâtre, qui sont nettement séparés des précédents; car il ne s'y rencontre qu'accidentellement des galets alpins.

[1] *Mémoire sur la distribution de l'or dans la plaine du Rhin et sur l'extraction de métal. Annales des mines*, 4e série, t. X, p. 3.

A mesure que l'on se rapproche du Rhin, l'épaisseur de cette couche supérieure de galets calcaires diminue, puis elle disparaît tout à fait.

Les dépôts diluviens situés au confluent du Rhin et de la Byrse ont donc la disposition représentée par la fig. 15. A, diluvium alpin ou du Rhin; A′, diluvium jurassique ou de la Byrse.

Partout où l'on peut observer une jonction dans les environs de Bâle, le gravier du Jura est nettement superposé au gravier alpin. La largeur du dépôt jurassique de la Byrse dans la plaine n'excède guère 2 kilomètres. Il est à remarquer qu'à la jonction des deux sortes de gravier, le relief de la terrasse ne représente aucune aspérité qui corresponde à cette hétérogénéité de composition.

Position semblable du gravier diluvien de la Forêt-Noire.

Si l'on passe le Rhin pour se diriger vers la vallée de la Wiese, on ne trouve dans les hauts talus de gravier au milieu desquels coule cette rivière, au sortir de la Forêt-Noire, que des cailloux qui proviennent certainement de cette chaîne de montagnes. Ainsi dans la gravière située à 800 mètres à l'ouest de Riehen, ce sont des granits à gros grains et à grains fins, des porphyres rouges quartzifères, des gneiss, des grauwackes avec un très-petit nombre de quartzites. Mais dès que l'on s'écarte de la rivière vers le nord ou vers le sud, les cailloux alpins deviennent plus abondants; dans la gravière de Leopoldshœhe, qui n'est qu'à 2 kilomètres de la Wiese vers le nord, on trouve principalement des cailloux des Alpes avec quelques galets de la Forêt-Noire, tels que les granits.

Le diluvium de la Forêt-Noire, le long de la Wiese, est large d'environ 2 kilomètres près de Riehen. Au nord et au sud il se mélange graduellement à du gravier des Alpes qui, à peu de distance de la jonction, prédomine beaucoup. Cette variation se fait sans que la terrasse cesse d'être horizontale.

Cette disposition, qui est analogue à celle observée plus haut pour la Byrse par rapport au gravier du Rhin, est représentée dans la fig. 16 (A, gravier alpin; A′, gravier de la Wiese).

D'après les observations de M. le professeur **Fromherz**[1], le diluvium de diverses rivières du versant méridional de la Forêt-Noire

[1] *Geognostische Beobachtungen über die Diluvialgebilde des Schwarzwaldes*, p. 59 et 60.

est aussi superposé au gravier du Rhin; tels sont ceux de la vallée de la Schlucht, entre Thiengen et Lauchringen, ceux de l'Albe, de la Murg et de la Wehra.

Diluvium des Vosges.

Beaucoup de rivières, en quittant les Vosges pour descendre vers le Rhin, coulent entre des atterrissements qui ressemblent aux terrasses des bords de la Byrse et de la Wiese. Le plus ordinairement les collines entre lesquelles coulent les rivières au sortir des montagnes, sont formées, jusqu'à 10, 20 et 25 mètres au-dessus du cours d'eau, de sable et de cailloux des Vosges. Ce dépôt s'élargit ordinairement à partir des montagnes, de manière à présenter la forme de deltas de fleuve. Cette disposition est frappante pour la Zorn, la Lauter et la Moder; l'atterrissement de cette dernière rivière atteint 12 kilomètres de largeur.

Les atterrissements sablonneux sont tantôt modelés sous forme de collines très-surbaissées et à pente douce, comme on le voit près de Pfaffenhoffen (fig. 17); tantôt ils sont disposés en terrasses bien régulières, telles que celles qui bordent la Zinzel près de Mertzwiller, ou la Moder entre Neubourg et Haguenau; il n'y a pas toujours symétrie sur les deux parois du vallon; c'est généralement sur la paroi opposée aux anses concaves que ces dépôts sont le plus puissants, et que les matériaux qui les composent sont surtout grossiers. Ces dépôts s'amincissent graduellement et se terminent ordinairement par des cailloux très-clairsemés. Les principaux faits sont représentés par les fig. 17, 18 et 19 (*a*, sable et cailloux du grès des Vosges; *a'*, limon jaune des plateaux; *a''*, cailloux épars; *b*, lœss).

Faible arrondissement des cailloux des Vosges, de la Forêt-Noire.

Il est à remarquer que les cailloux diluviens des Vosges et de la Forêt-Noire sont en général bien moins complétement arrondis que les galets du Rhin, en comprenant même dans ceux-ci les galets de quartzite. Ce fait peut être vérifié dans toutes les vallées méridionales, telles que celle de la Thur, de Massevaux, de Giromagny, de Munster, de Villé etc. Les galets qui proviennent de la destruction du grès des Vosges et qui étaient arrondis avant d'entrer en circulation, ne peuvent évidemment servir de terme de comparaison.

On reconnaît ainsi comme très-probable que les quartzites et les autres roches très-dures des alluvions du Rhin n'auraient pas pris la forme de cailloux parfaitement arrondis, forme qu'ils ont même

dans le haut du bassin, au-dessus de Bâle, si ces débris de roches n'avaient fait que descendre des montagnes en frottant les uns contre les autres dans un cours d'eau tel que le Rhin. On est amené à conclure, ou bien que ces cailloux ont subi pendant l'époque diluvienne ou erratique des frottements plus violents que ceux qu'ils éprouvent dans le roulis actuel du fleuve, ou bien que ces mêmes cailloux avaient été préalablement arrondis dans des lacs ou dans la mer, à l'époque tertiaire, lorsqu'ils sont entrés en circulation dans les eaux courantes.

Superposition du gravier des Vosges au gravier alpin.

Dans les puits que l'on fait journellement à Schiltigheim près de Strasbourg, on traverse le lœss sur toute son épaisseur pour atteindre l'eau dans le gravier qu'il recouvre. On rencontre alors sur beaucoup de points une couche de sable des Vosges qui est superposé au gravier alpin. Ce sable, qui résulte de la désagrégation du grès des Vosges, est mélangé de fragments du même grès et de galets de porphyre de la vallée de la Bruche.

Une superposition semblable du diluvium des Vosges au diluvium alpin a d'ailleurs été signalée aux environs de Mulhouse par **M. Kœchlin-Schlumberger** et par **M. Édouard Collomb**[1].

La relation du gravier ancien du Rhin par rapport au gravier diluvien des rivières qui descendent du Jura, de la Forêt-Noire et des Vosges, nous amène à conclure que l'époque de la formation des chaînes de montagne n'a pas eu d'influence sur l'âge des dépôts diluviens qui en rayonnent, puisque le gravier diluvien de ces trois dernières chaînes de montagnes n'est pas moins ancien que celui qui a été charrié des Alpes.

Limon jaune des plateaux.

Le sable et le gravier des Vosges qui bordent les rivières passent en beaucoup de points à un limon jaunâtre souvent sablonneux qui recouvre les plateaux. C'est un limon semblable à celui qui couvre de vastes étendues dans l'intérieur de la France[2]. Tantôt le passage du limon aux cailloux se fait graduellement, comme aux environs de Gumbrechtshoffen ; tantôt le passage est plus brusque. Quelque-

[1] **Édouard Collomb**, *Quelques observations sur le terrain quaternaire du bassin du Rhin et des relations d'âge qui existent entre le terrain de la plaine et celui de la montagne* (*Bulletin de la Société géologique de France*, 2e série, t. VI, p. 480).

[2] **D'Archiac**, *Histoire de la géologie*, 1833-1843, t. II, p. 151.

fois le limon est superposé au sable des Vosges, comme près de Rauschendwasser; d'autres fois encore les cailloux forment des veines irrégulières au milieu du limon.

Lors même qu'il couvre de grandes étendues, le limon est peu épais; il n'a quelquefois que 2 ou 3 décimètres d'épaisseur, et, dans ce cas, l'on pourrait quelquefois croire qu'il résulte simplement de la désagrégation du lias qu'il recouvre souvent, s'il n'était pas mélangé de sable et de cailloux des Vosges. Quand il recouvre le lias, il contient des dépôts de minerai de fer qui sont exploités sous le nom de *mine plate;* c'est le sphérosidérite du lias qui a été lavé sur place.

Des bariolures blanches s'observent très-fréquemment dans le limon jaune dont il s'agit. Elles sont dues à l'action dissolvante de plantes en décomposition, et se lient ainsi à la formation du minerai de fer des marais, comme je l'ai exposé dans un mémoire antérieur[1]. On y trouve fréquemment aussi, par exemple aux environs de Niederbronn, de Bouxwiller, d'Œrmingen, des pisolithes noirâtres ou jaunâtres qui, au premier abord, pourraient paraître provenir du terrain de minerai de fer pisolithique; mais ces pisolithes sont très-friables et ne renferment guère plus de 10 pour 100 d'oxyde de fer; de l'oxyde de manganèse et une matière organique s'y trouvent mélangés. Ces pisolithes paraissent être des concrétions formées dans le limon, à peu près à la manière du minerai de fer des marais.

Du lœss ou lehm.

A. D. 8. Parmi les dépôts de transport de la vallée du Rhin, le plus frappant pour l'observateur, tant par son développement que par l'altitude considérable qu'il occupe au-dessus des cours d'eau actuels, est le limon sableux et calcarifère connu sous le nom de *lœss* ou de *lehm*.

Ce dépôt a déjà été trop souvent décrit pour qu'il soit nécessaire d'en parler ici[2]. Cette vaste traînée qui s'étend dans le bassin du Rhin avec une physionomie si uniforme jusqu'au delà de Cologne,

[1] *Recherches sur la formation du minerai de fer et des lacs* (*Annales des mines*, 4e série, t. X, p. 37).

[2] **Alexander Braun**, *Leonhards Jahrbuch*, 1847, p. 49. Cette lettre renferme de précieux détails sur les coquilles du lœss. — **D'Archiac**, *Histoire de la géologie*, t. II, p. 178. — **Éd. Collomb**, Mémoire cité plus haut (*Bullet. de la Société géologique*, 2e série, t. IV, p. 480).

se rencontre déjà près du lac de Constance. Il paraît que le lœss du bassin du Rhône, qui est très-semblable à celui-ci, prend naissance vers le lac de Genève, c'est-à-dire aussi non loin de la limite des Alpes, et dans une position topographique qui rappelle les environs de Constance.

Dépôts erratiques.

Le lœss alpin contraste avec le limon jaune qui provient des Vosges, par l'abondance des coquilles terrestres et fluviatiles que renferme le premier dépôt sur une foule de points, tandis que l'on n'en trouve que très-peu dans le limon jaune de nos plateaux. On peut ajouter que le lœss donne une terre végétale de beaucoup supérieure à celle du limon des Vosges, différence qui est d'ailleurs facile à comprendre.

Outre les dépôts de gravier et de limon dont il vient d'être question, dépôts qui ont été évidemment apportés par les eaux courantes, il existe dans plusieurs régions de la vallée du Rhin des accumulations de blocs et de gros matériaux que l'on comprend particulièrement sous le nom de *dépôts erratiques*. Dans le département du Bas-Rhin, par exemple près d'Obernai, d'Otrott-le-Bas, de Saint-Nabor, d'Epfig, de Blienschwiller, d'Itterswiller, de Neubois etc., on rencontre de ces dépôts qui n'ont pas été encore signalés; afin d'éviter un double emploi, je renvoie pour leur description à la *Statistique minéralogique et géologique du Bas-Rhin*, qui est sous presse. Je ferai seulement observer ici que ces accumulations de gros blocs sont antérieures au dépôt du lœss, ainsi qu'on le reconnaît dans la colline d'Epfig.

Régime des cours d'eau qui ont achevé le modèle de la plaine du Rhin.

L'examen des dépôts diluviens fournit quelques données sur les phases par lesquelles la vallée du Rhin a passé, depuis que les dépôts tertiaires marins et lacustres ont été mis à sec jusqu'à l'époque actuelle.

Dans de nombreuses localités on peut constater que le lœss est superposé au gravier diluvien des Vosges, de la Forêt-Noire, des Alpes, du Jura et du Kaiserstuhl[1], et de plus, qu'il existe souvent une séparation très-nette entre le limon et ce gravier. La superpo-

[1] Le fait relatif à cette dernière localité s'observe très-bien au bas de Nieder-Rothweil; les cailloux qui consistent exclusivement en basalte du Kaiserstuhl sont faiblement arrondis et recouverts par le lœss. Aux portes mêmes de Strasbourg, à Schiltigheim, le lœss recouvre le gravier alpin et le gravier de la vallée de la Bruche.

sition du lœss au gravier ancien n'est d'ailleurs pas limitée au bassin du Rhin; **M. de Morlot** signale une disposition semblable dans le bassin du Danube, par exemple près de Lintz[1]. Ainsi, déjà antérieurement au dépôt du lœss, des cours d'eau descendant de toutes les chaînes voisines du bassin, après avoir emporté une partie des terrains tertiaires qui comblaient le milieu de la vallée, ont déposé des quantités considérables de cailloux. Le dépôt de ces puissants atterrissements graveleux correspond probablement à une longue période pendant laquelle, par suite de circonstances climatériques différentes, et peut-être aussi parce qu'une végétation bien développée ne protégeait pas encore l'épiderme des continents, les dégradations dues aux agents atmosphériques étaient considérables. Dans beaucoup de petits vallons des Vosges on trouve des atterrissements qui ne sont probablement autre chose que des lits de déjection de torrents éteints depuis une époque indéterminée; ces petits atterrissements remontent sans doute à la même période que les dépôts de gravier plus étendus.

Le grand charriage auquel le lœss doit son dépôt succéda à ce premier état de chose; les atterrissements précédents furent partiellement recouverts par le lœss, qui s'étend moyennement à plus de 60 mètres au-dessus du niveau du gravier.

Plus tard, les rivières dont le lit avait subi, par le charriage du lœss, un exhaussement tout à fait anormal, et le Rhin en particulier, travaillèrent immédiatement à creuser de nouveau leur thalweg, en déblayant une partie du limon qui obstruait leur ancien lit. Chaque cours d'eau a laissé des traces évidentes des divagations par lesquelles, après le dépôt du lœss, il a préludé à la formation de son lit actuel. Les gradins qui découpent les terrasses de lœss et celles de gravier, vis-à-vis de presque toutes les vallées de montagnes d'où il sort des rivières, résultent en effet de ces corrosions ultérieures : des cailloux ont été éparpillés sur les terrasses de lœss dont il s'agit, pendant cette troisième période, c'est-à-dire lorsque ces terrasses servaient de lit à la rivière.

Le lœss, surtout peu de temps après sa formation, devait être facilement rongé par les eaux: de là la grandeur des échancrures qui y ont été pratiquées; l'érosion de la vallée de la Bruche, par

[1] *Erlæuterungen zur geologischen Karte der nordöstlichen Alpen*, 1847.

exemple, atteint 5 kilomètres de largeur. Il est à remarquer que les érosions au fond desquelles coulent les ruisseaux, sont en général d'autant moindres que ces ruisseaux sont moins volumineux; le modelé du lœss, sous forme de collines et de mamelons isolés, tel que nous le voyons généralement aujourd'hui, paraît donc être en grande partie l'œuvre des cours d'eau qui, depuis l'époque de son dépôt, ont coulé, soit à la surface, soit dans le voisinage de ce limon. Dans la théorie glaciaire, on est conduit à admettre, ainsi que l'ont exposé **M. de Morlot** et **M. Collomb**[1], *que le lehm n'est autre chose que la boue qui résultait de la trituration opérée par les anciens glaciers sur les roches soumises à leur frottement;* boue qui aurait été transportée au loin par les cours d'eau, comme elle l'est aujourd'hui encore par les eaux qui proviennent de la fonte des glaciers actuels.

C'est à la suite des variations dans le régime des eaux courantes, dont nous venons de signaler les preuves, qu'a été modelée la grande plaine basse dans laquelle coule le Rhin. Il résulte de plusieurs nivellements faits avec soin que l'alluvion, considérée dans l'ensemble de la section transversale, et abstraction faite de légères inégalités, est horizontale sur une largeur qui atteint 40 kilomètres. Une telle horizontalité ne pourrait avoir lieu si cette plaine avait été formée, en une seule opération, par l'un des grands cours d'eau qui ont précédé le Rhin actuel. Car un cours d'eau large et rapide se serait creusé dans ce fond mobile un lit dont la section transversale, pas plus que celle du lit des rivières actuelles, ne pourrait présenter de longues lignes régulièrement horizontales. La belle plaine dont il s'agit, aujourd'hui couverte de villes et de villages populeux, a donc été sillonnée et achevée par les dernières grandes divagations du Rhin, lorsque les allures de ce fleuve étaient déjà très-voisines de celles qu'il a aujourd'hui. Avant de renoncer à son ancien domaine, le fleuve a superposé au gravier, pendant ses crues, une couche de limon sableux, sans lequel ce sol, ordinairement si productif aujourd'hui, serait presque stérile. Puis finalement, ses nombreux bras ayant été rapprochés et en partie réunis vers le mi-

[1] *Ueber die Gletscher der Vorwelt und ihre Bedeutung.* Bern 1844. — **Czizeck**, *Erläuterungen zur geognostischen Karte der Umgebung Wiens.* 1849. — **Éd. Collomb**, Mémoire déjà cité.

lieu de la plaine, les eaux devenues plus rapides ont ap
leur lit de telle sorte, que des régions de la plaine primi
submersibles sont aujourd'hui habituellement à sec pour é
vertes d'une population très-dense.

Pour ce dernier travail, la nature a été fortement second
main des hommes depuis les époques les plus reculées. Le
de rectification faits seulement depuis trente années entre
gen, près de Carlsruhe, et Kehl, ont produit dans le r
fleuve des changements que la mobilité du fond ne perm
constater directement, mais que l'on peut apprécier en exa
série des moyennes annuelles des mesures prises chaque
différentes échelles. C'est ainsi que l'on reconnaît qu'à Kn
à la suite des travaux entrepris dans le voisinage, de 1817
le lit s'est approfondi d'environ $1^{m},50$. A Kehl, l'appro
ment a été dans ces dernières années de 60 centimètres a
aussi des puits de Strasbourg, alimentés par des eaux d'in
en communication avec le Rhin, qui de mémoire d'hon
vaient jamais cessé de recevoir de l'eau, ont tari complét
1848, et cet état se reproduira encore plus d'une fois pour
que l'on n'a pas approfondis alors. Les coupures artifici
raccourcissent considérablement le thalweg, et par conse
augmentent la pente, déterminent un accroissement de v
par suite une érosion plus profonde à proximité des trav
Mais dans les parties éloignées des grandes rectificati
exemple à Mannheim, le niveau du Rhin n'a pas sensible
rié. On voit donc que les travaux de rectification continue
sécher chaque jour la plaine du Rhin qui était jadis très
geuse, et à y effacer de plus en plus les vestiges du doma
rieur du fleuve.

PLANCHES.

Pl. I^re^. *Tableau indiquant l'état des hauteurs et des températures du Rhin à l*
duché de Bade) du 1^er^ janvier 1848 au 31 janvier 1849.

Échelles. Pour les températures du Rhin = 5 millimètres par degré. Pou
ratures de l'air ambiant = 5 millimètres par degré. Pour les hauteurs du
millimètres par mètre.

Chaque jour est représenté par un millimètre. — Les hauteurs du Rhin sont représentées à partir d'une ligne horizontale qui correspond au zéro du rhénomètre.

Pl. II, fig. 9. Disposition des deux terrasses diluviennes qui bordent le Rhin entre Bâle et Neuf-Brisach, sur une longueur de 50 kilomètres.

Fig. 8. Profil longitudinal de la terrasse diluvienne de la rive droite du Rhin de Bâle à Neuf-Brisach.

Échelle des distances horizontales à 1/150,000.

Échelle des hauteurs à 1/3000, c'est-à-dire 50 fois plus grande que celle des distances horizontales.

a a, fond du lit du Rhin.

b b, limite supérieure des alluvions modernes.

c, *d*, *e*, *f*. Longue terrasse sur laquelle repose Saint-Louis et qui s'étend jusqu'à Neuf-Brisach.

g, *h*. Terrasse sur laquelle repose Burgfelden.

i, *k*. Terrasse intermédiaire entre les deux précédentes.

m, *n*. Terrasse supérieure.

Pl. III, fig. 2. Imbrication des cailloux à la surface d'un banc de gravier. — Plan. — Coupe longitudinale. — On y voit la position du centre de gravité des cailloux. La direction du courant est exprimée par celle de la flèche.

Fig. 3. Corrosion d'un pilier de bois par le frottement des galets.

Fig. 4. Éclat d'obus usé sur place par le frottement des galets contre la partie supérieure.

Fig. 5. Boulet usé sur place par le frottement des galets contre la partie supérieure.

Fig. 6. Coupe transversale des terrasses diluviennes qui bordent le Rhin à 2 kilomètres au-dessous de Bâle.

Fig. 7. Coupe des terrasses diluviennes qui bordent la Birseg, près de Bâle. Marnes tertiaires avec coquilles marines.

Fig. 10. Coupe transversale des deux terrasses diluviennes du Rhin à la hauteur de Blodelsheim. — Ouest. Blodelsheim. — Est. Griesheim.

Fig. 11. Coupe transversale des deux terrasses diluviennes du Rhin à la hauteur de Kembs.

Fig. 12. Terrasses de lœss qui bordent les alluvions modernes du Rhin près de Strasbourg. — Nord-ouest Truchtersheim. Terrain tertiaire. — Sud-est Kehl.

Fig. 13. Remaniement du grès molasse à la base du diluvium, près de Bellingen. — Molasse tertiaire.

Fig. 14. Poudingue diluvien cimenté en un poudingue très-dur, formant une corniche près de Bellingen.

Fig. 15. Relation du diluvium de la Byrse et du diluvium du Rhin, près de Bâle.

Fig. 16. Relation du diluvium de la Wiese au diluvium du Rhin, près de Bâle. — Nord-ouest, plaine du Rhin. — Wiese. — Sud-est, Rhin à 3 kilomètres à l'amont de Bâle.

Fig. 17. Coupe transversale des alluvions anciennes de la Moder, près de Pfaffenhoffen. — Sud, calcaire jurassique. — Moder. — Nord, terrain tertiaire.

Fig. 18. Coupe transversale des alluvions anciennes de la Zinzel à Gumbrechtshoffen. — Sud, oolithe. — Grès supraliasique. — Lias. — Nord, Lias.

Fig. 19. Coupe transversale des alluvions anciennes de la Zorn, près de Hochfelden. — Sud, lias. — Nord, lias.

Hauteurs et températures du Rhin à Kehl,

du 1er janvier 1848 au 31 janvier 1849.

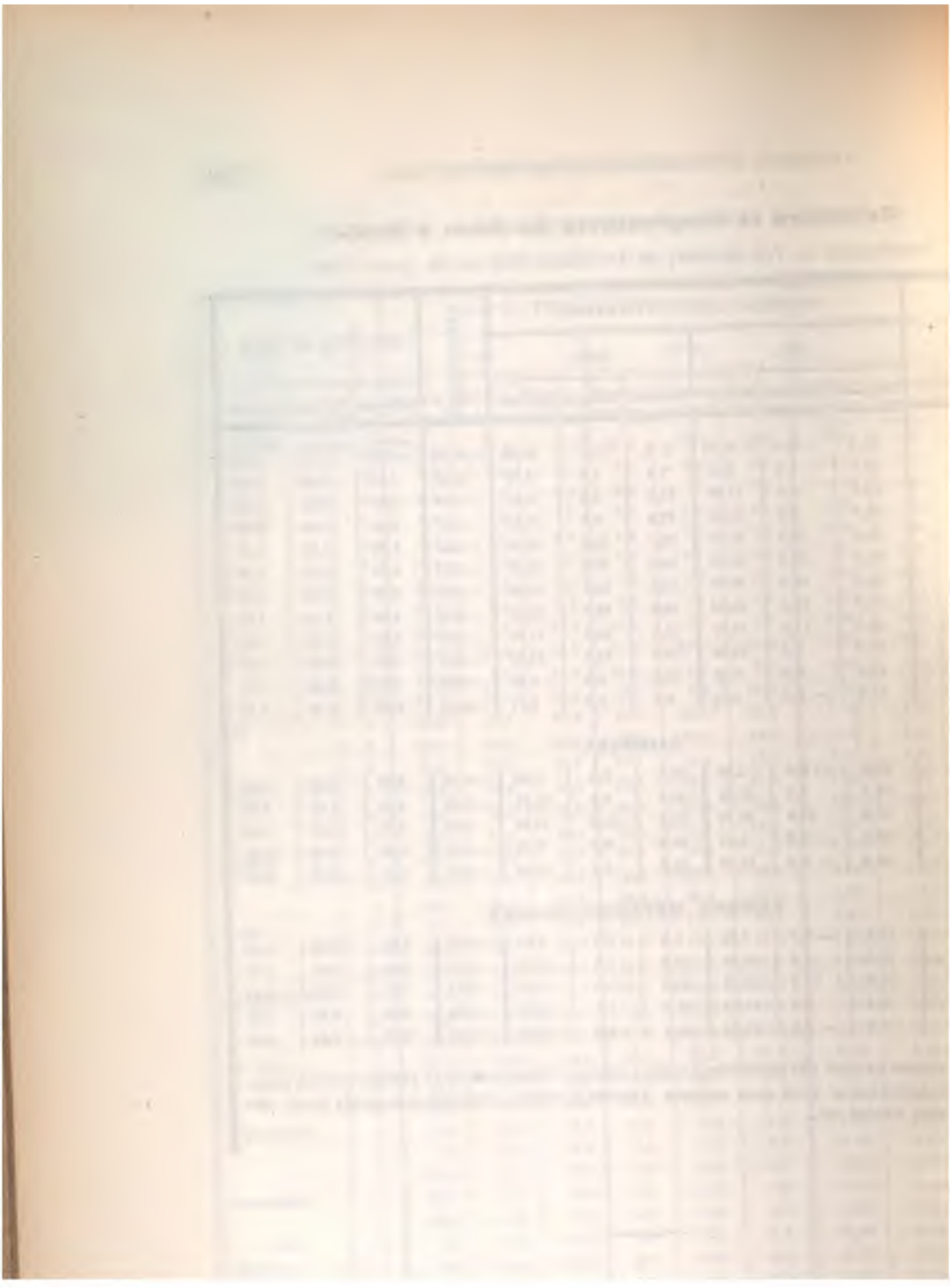
MOIS.	DÉCADES.	TEMPÉRATURES CENTIGRADES.						HAUTEUR DU	
		AIR.			RHIN.				
		Maximum	Minimum	Moyenne	Maximum	Minimum	Moyenne	Maximum	Minimum
								mètres.	mètres.
1848									
Janvier	1	— 0°,5	— 7°,0	— 3°,7	2°,8	0°,4	1°,7	— 0,16	— 0,28
	2	2,8	— 9,0	— 4,4	1,2	0,2	0,6	— 0,24	— 0,33
	3	— 3,2	— 7,3	— 5,5	0,3	0,0	0,2	— 0,35	— 0,55
Février	1	9,8	— 1,2	4,6	3,8	1,2	2,1	1,18	— 0,25
	2	8,8	3,0	6,0	4,4	3,7	4,0	1,18	0,30
	3	14,1	1,7	8,6	7,3	3,7	5,6	1,70	0,20
Mars.	1	13,0	1,5	7,3	7,0	5,0	5,2	1,70	0,65
	2	15,5	2,6	9,0	6,8	4,8	5,5	1,60	0,65
	3	22,6	9,0	17,3	10,5	6,8	7,8	2,25	1,20
Avril.	1	26,8	16,3	22,5	11,4	10,0	10,6	1,60	1,40
	2	19,2	8,0	13,7	11,3	8,5	9,8	2,25	1,60
	3	21,7	10,0	14,2	12,8	9,3	10,9	2,25	1,70
Mai.	1	24,3	16,5	19,8	15,0	12,8	13,6	1,70	1,20
	2	28,0	18,4	23,5	18,0	15,0	16,3	1,20	1,15
	3	26,8	19,0	22,6	18,7	15,0	16,7	1,35	1,10
Juin	1	28,5	12,8	21,3	18,7	15,5	17,0	1,60	1,10
	2	31,0	18,5	25,0	20,5	17,8	19,1	1,80	1,55
	3	31,5	18,5	26,0	19,5	17,8	18,7	2,00	1,60
Juillet.	1	34,8	23,8	27,0	21,2	16,2	19,0	2,30	1,65
	2	30,7	14,0	23,3	20,8	16,5	18,9	2,50	1,65
	3	31,8	22,3	27,7	22,6	20,8	21,5	2,10	1,45
Août.	1	29,5	20,9	25,1	22,0	18,5	20,4	1,45	1,25
	2	31,0	22,8	27,3	21,0	19,4	20,3	1,55	1,10
	3	32,9	13,8	23,0	21,8	18,5	20,1	1,55	1,18
Septembre . .	1	30,4	17,8	25,4	21,0	17,6	19,3	1,25	0,95
	2	27,8	14,7	20,3	19,5	15,3	16,7	0,95	0,60
	3	25,2	15,0	20,5	17,5	15,5	16,4	0,60	0,20
Octobre. . . .	1	23,2	14,3	19,2	16,5	15,5	16,6	0,58	0,20
	2	14,5	8,4	12,1	15,5	12,0	12,4	0,60	0,30
	3	20,0	13,0	15,6	13,0	10,7	11,6	0,32	0,28
Novembre. . .	1	13,5	0,0	8,3	11,8	5,0	7,6	1,30	0,28
	2	8,5	0,0	4,2	6,2	4,0	5,2	0,80	0,45
	3	10,4	4,0	7,1	6,8	5,2	6,0	0,90	0,60
Décembre . .	1	13,7	5,8	8,6	6,8	4,8	5,6	0,75	0,60
	2	12,0	— 1,0	5,9	5,0	3,8	4,3	0,60	0,30
1849	3	1,5	— 6,3	— 2,7	2,8	0,0	1,4	0,30	0,00
Janvier	1	2,0	— 6,4	— 3,0	2,8	0,0	1,6	0,55	0,00
	2	11,5	0,0	5,8	5,8	0,8	3,9	3,35	0,30
	3	9,8	1,5	6,4	5,0	3,4	4,2	2,10	1,10

Hauteurs et températures du Rhin à Kehl.

Température de l'air ambiant, du 1er janvier 1848 au 31 janvier 1849.

	TEMPÉRATURES CENTIGRADES.						DIFFÉRENCES.	HAUTEUR DU RHIN.		
	AIR.			RHIN.						
	Maximum	Minimum	Moyenne	Maximum	Minimum	Moyenne		Maximum	Minimum	Moyenne
								mètres.	mètres.	mètres.
. . . .	2°,8	— 9°,0	— 4°,53	2°,8	0°,0	0°,83	+5°,36	—0,16	—0,55	—0,31
. . . .	14,1	— 1,2	6,40	7,3	1,2	3,90	—2,50	1,70	—0,25	0,43
. . . .	22,6	1,5	11,20	10,5	4,8	6,17	—5,03	2,25	0,65	1,33
. . . .	26,8	8,0	16,80	12,8	8,5	10,43	—6,37	2,25	1,40	1,81
. . . .	28,0	16,5	21,97	18,7	12,8	15,53	—6,44	1,70	1,10	1,27
. . . .	31,5	12,8	24,10	20,5	15,5	18,27	—5,83	2,00	1,10	1,59
. . . .	34,8	14,0	26,00	22,6	16,2	19,80	—6,20	2,50	1,45	1,93
. . . .	31,0	13,8	25,13	22,0	18,5	20,27	—4,86	1,55	1,10	1,33
bre . .	30,4	14,7	22,07	21,0	15,3	17,47	—4,60	1,25	0,20	0,74
e. . . .	23,2	8,4	15,63	16,5	12,0	13,33	—2,30	0,60	0,20	0,37
bre. . .	13,5	0,0	6,53	11,8	4,0	6,27	—0,26	1,30	0,28	0,73
bre . .	13,7	— 6,3	3,94	6,8	0,0	3,77	—0,17	0,75	0,00	0,43
SAISONS [1].										
. . . .	22,6	— 9,0	4,36	10,5	0,0	3,63	—0,73	2,25	—0,55	0,48
nps . .	31,5	8,0	20,96	20,5	8,5	14,74	—6,22	2,25	1,10	1,56
. . . .	34,8	13,8	24,40	22,6	15,3	19,18	—5,22	2,50	0,20	1,33
ne . . .	23,2	— 6,3	8,70	16,5	0,0	7,79	—0,91	1,30	0,00	0,51
. . . .	34,8	— 9,0	14,60	22,6	0,0	11,33	—3,27	2,50	—0,55	0,97
SAISONS MÉTÉOROLOGIQUES.										
. . . .	14,1	— 9,0	1,94	7,3	0,0	2,83	—0,89	1,70	—0,55	0,20
nps . .	28,0	1,5	16,66	18,7	4,8	10,71	—5,95	2,25	0,65	1,47
. . . .	34,8	12,8	25,08	22,6	15,5	19,45	—5,63	2,50	1,10	1,62
ne . . .	30,4	0,0	14,74	21,0	4,0	12,36	—2,38	1,30	0,20	0,61
. . . .	34,8	— 9,0	14,60	18,7	0,0	11,33	—3,27	2,50	—0,55	0,97

. Les saisons ne sont pas météorologiquement exactes; l'hiver comprend janvier, février, mars, autres saisons par trois mois suivants. J'établis le tableau météorologiquement; hiver : dé-, janvier, fevrier etc.



PHÉNOMÈNES GLACIAIRES

DE LA FORÊT-NOIRE (SCHWARZWALD)[1].

Introduction.

C. V. et D. A. En 1846 nous avons parcouru une grande partie de la *Forêt-Noire méridionale*, et avons examiné en détail et avec beaucoup de soin la *vallée de l'Enfer* (*Hœllenthal*), celle du *Titi-See* jusqu'à son origine au pied du Feldberg, celle de l'*Aha*, dans laquelle se trouve le *Schluch-See*, la *vallée de l'Alb* et toute la *vallée de la Wiese* (*Wiesenthal*).

Nous avons pris des renseignements auprès de **M. Fromherz** à Fribourg, et nous pouvons dire de son livre[2] que les faits s'y trouvent exposés avec une exactitude rigoureuse. Mais si on peut ajouter bien peu aux recherches consciencieuses de **M. Fromherz**, il est au contraire très-évident pour nous que ses conclusions sont fausses et que les traces d'anciens glaciers sont manifestes dans cette partie de la Forêt-Noire.

Il faut convenir d'abord que la nature des roches qui se trouvent dans les contrées parcourues est peu favorable à la conservation des surfaces polies et des stries caractéristiques pour les polis glaciaires. Tous ces granits, gneiss et schistes métamorphiques se délitent avec une extrême facilité et s'arrondissent par la seule in-

[1] *Course dans la Forêt-Noire (Schwarzwald, grand-duché de Bade), en 1846*, par **Carl Vogt** et **Dollfus-Ausset** (C. V. et D. A.).

[2] *Geognostische Beobachtungen über die Diluvial-Gebilde des Schwarzwaldes, oder über die Geröll-Ablagerungen in diesem Gebirge, welche den jüngsten vorgeschichtlichen Zeiträumen angehören*, von **Karl Fromherz.** Mit einer Karte der urweltlichen Seen des Schwarzwaldes. Freiburg 1842. Druck und Verlag von Adolph Emmerlin, in-8°, 443 pages et une carte.

fluence des agents atmosphériques. Tous les polis signalés par **M. Fromherz** ne sont que des *Karren* d'une extension très-limitée. Il faut donc, pour prouver l'existence d'anciens glaciers, s'arrêter partout aux *dépôts morainiques*, à la disposition de ces dépôts, et aussi à la forme des galets qui se trouvent dans les parties supérieures des vallées.

Moraines composées de blocs anguleux mêlés à des galets et du sable grossier.

C. V. et D. A. 1. Les moraines que nous avons trouvées sont composées de *blocs anguleux* mêlés à des galets arrondis et à du sable grossier. Les blocs arrondis et les galets ronds sont plus nombreux dans le bas des vallées.

Galets et blocs polis seulement sur une ou deux faces ; signe distinctif des galets glaciaires.

Dans les hautes vallées, les blocs et les galets sont généralement polis sur une ou deux faces, de manière à présenter des surfaces lisses combinées avec des faces raboteuses. — Comme pièces de conviction nous avons ramassé des galets que **M. Leblanc** ne manquerait certainement pas de reconnaître comme des types de galets glaciériques. C'est surtout dans les moraines du *Bœren-See* et du *Titi-See* que cette forme de galets est frappante.

Moraines pareilles à celles des Vosges. Les vallées sont barrées par une ou plusieurs rangées de moraines.

C. V. et D. A. 2. Quant à la disposition des moraines, nous l'avons trouvée exactement semblable à celle des vallées des Vosges. — Toutes les anfractuosités des vallées sont remplies par des dépôts morainiques. — Toutes les collines faisant obstacle dans la vallée sont couvertes en amont (*Stossseite*) par des moraines par obstacle. — Partout aux confluents de deux vallées se trouvent d'énormes dépôts triangulaires qui s'appuient sur des crêtes de séparation. — La grande majorité des vallées montrent une ou plusieurs rangées de moraines terminales qui barrent les vallées.

Le Titi-See et le Schluch-See n'existent que par les moraines qui ont barré les vallées.

C. V. et D. A. 3. Les *lacs du Titi-See* (843 mètres altitude) et du *Schluch-See* (975 mètres altitude) n'existent que grâce aux moraines qui ont complétement barré les vallées. — La vallée du Titi-See est une contrée réellement classique pour le développement des moraines. — Cette vallée, qui court de l'*Ouest* à l'*Est*, descend du Feldberg, sommet de 1494 mètres de hauteur absolue. — Le Titi-See (843 mètres altitude) se trouve à peu près à 8 kilomètres de distance du Feldberg. Une énorme accumulation morainique barre l'extrémité de ce lac. Cette moraine, sur laquelle est établie la route, s'appuie des deux côtés sur les crêtes rocheuses de la vallée;

elle présente une pente abrupte en amont où elle monte en ligne courbe, et convexe en aval; le torrent qui s'échappe du lac s'est frayé un passage à travers cette masse de dépôts, et son lit présente partout des berges de 6 à 10 mètres de hauteur et de 20 à 40 mètres de largeur.

La surface de la moraine est entièrement plane; elle se continue jusqu'à des maisons de la commune *Vierthœler*, où elle se termine par une petite pente à peine marquée. — Cette moraine présente une tranchée verticale formée par les eaux en amont, puis une surface plane, et en aval une pente peu sensible. Cette forme s'explique tout simplement par la circonstance que c'est une moraine remaniée, car évidemment le *Titi-See* avait au commencement (avant que le torrent se fût frayé son passage) son niveau à la hauteur de la moraine, et s'étendait jusqu'au *Barthlisbauer* (maison à 2 kilomètres en amont), qui est juste au niveau avec la surface de la moraine terminale. — La tourbe du fond et les terrasses latérales indiquent d'anciennes lignes de rivage et prouvent que le Titi-See s'étendait jusque-là et que son niveau a graduellement baissé par suite de l'érosion du lit du torrent dans les terrains meubles de la moraine.

Le Titi-See. Son niveau a graduellement baissé par suite de l'érosion du lit du torrent dans les terrains meubles de la moraine.

C. V. et D. A. 4. En remontant la vallée, on trouve partout dans les anfractuosités du terrain une grande quantité d'accumulation morainique à blocs anguleux et à galets semi-polis; mais une magnifique moraine se trouve près de l'endroit dit *Bœren-Thal*. Cette moraine est couverte de sapins; elle présente sa forme primitive et longe la côte sur une largeur d'un kilomètre. Les blocs qui sont empâtés dans cette moraine et ceux qui se trouvent isolés à sa surface, sont d'un granit assez compacte, qui se délite moins que dans d'autres localités. Nous avons détaché des échantillons d'un poli parfait de la surface d'un bloc isolé. Impossible de trouver des galets à surface rayée.

Moraine au Bærenthal. Blocs et surfaces polies.

C. V. et D. A. 5. Les glaciers ont existé dans la Forêt-Noire, et la vallée du Titi-See est tout aussi remarquable sous ce point de vue que celle de Saint-Amarin dans les Vosges.

Conclusions.

D. A. 6. — 1861. — A Fribourg des constructions nombreuses s'exécutent près de la station du chemin de fer. Le terrain excavé met à nu les matériaux de la moraine profonde. Ces matériaux se

1861. Moraine profonde de Fribourg.

composent de blocs anguleux à arêtes très-vives, de gros bl
écornés et arrondis, de galets glaciaires, de sable grossier et
sable très-fin, boue de glacier.

1862. Moraine du Wiesenthal.

D. A. 7. — 1862. — Près de Lœrrach, moraine profonde da
toute la vallée, dans laquelle la Wiese (torrent) s'est creusé son l

J'ai fait plusieurs courses dans la Forêt-Noire, depuis 1846,
tous les matériaux dispersés, consultés, me disent : détachés p
les glaciers, transportés sur leur dos et plus tard remaniés par l
eaux.

DÉPOTS GLACIAIRES

DU BASSIN INFÉRIEUR DU RHONE,

DE LYON A LA MER[1].

R. B. 1. Après avoir étudié les terrains alluviens du bassin du Léman, j'ai désiré suivre ces dépôts jusqu'à la mer. Dépôts erratiques à Chambéry.

La réunion de la Société géologique de France à Chambéry m'a décidé à passer par cette ville; j'ai visité l'un de ses dépôts alluviens, situé à une demi-lieue de la ville, à l'endroit où l'on prend le chemin qui monte au Désert; il a tous les caractères des dépôts que j'ai observés dans le canton de Vaud; la rivière est à droite en montant, l'alluvion à gauche; elle est en grande partie formée de débris alpins avec blocs erratiques rayés et polis; une marne rougeâtre, qui paraît provenir des montagnes voisines, constitue la partie supérieure du dépôt.

J'ai regretté de ne pouvoir visiter le dépôt de Sonnaz; on exploite avec succès une couche de lignite située dans sa partie inférieure; **M. l'abbé Chamousset** possède un *cône de sapin fossile* trouvé dans cette localité; il a aussi recueilli quelques coquilles fossiles que M. le professeur **Agassiz** a reconnu appartenir aux genres *Planorbis*, *Valvata*, *Truncatula*, *Succinea* et *Lymnea*[2].

[1] D. A. Extrait de: *Terrain erratique alluvien du bassin du Léman et de la vallée du Rhône de Lyon à la mer*, par **B. Blanchet**, broch. in-8°, 35 pages. Carte du glacier du Rhône dans le bassin du Léman pendant la période alluvienne. Lausanne, Georges Bridel, éditeur, 1844.

[2] **M. Necker** a aussi trouvé, dans des dépôts de Genève, des *Lymnées* et des *Planorbes* avec des *feuilles* et *faînes* de *hêtre;* ces fossiles sont dans une marne grise. *Études géologiques dans les Alpes*, vol. 1, p. 488.

Dépôts erratiques entre Pont-Chéri et Janeyriat.

R. B. 2. Sur la route de Chambéry à Lyon, à quelques lieues de cette dernière ville, j'ai retrouvé, entre Pont-Chéri et Janeyriat, des collines étagées d'alluvion avec des blocs erratiques anguleux d'un volume de plusieurs pieds cubes. Au Molard, ces dépôts étagés reparaissent; on exploite du sable à leur surface.

Dépôts erratiques à Lyon.

R. B. 3. A Lyon[1], M. le professeur **Fournet** a eu l'obligeance de m'accompagner dans les localites les plus caractéristiques des alluvions sur lesquelles est située la partie de la ville entre la Saône et le Rhône. En quittant le fleuve au faubourg Saint-Clair, et en suivant la montée de la Boucle, on trouve à droite le *conglomérat lacustre supérieur*, soit *terrain tertiaire* de la Bresse, qui, dans les localités où **M. Fournet** a pu voir la superposition, repose sur la molasse marine, *tertiaire moyen*. D'après les géologues français, ce terrain commence à Saint-Vallier (Drôme) et s'étend jusque près de Dijon; sa plus grande puissance, aux environs de Lyon, est de 40 à 50 mètres; dans quelques localités, vers la Tour-du-Pin, il renferme une couche de *lignite*, entre deux couches d'argile; les fossiles que l'on y observe sont des *Lymnées* et des *Planorbes*. J'ai retrouvé ce conglomérat dans plusieurs localités inférieures à Saint-Vallier, en particulier de Cadenet à Pertuis, le long de la Durance, où il n'a que quelques pieds de puissance et repose en stratification discordante sur la molasse marine. J'ai été frappé de voir les dépôts de Pertuis inclinés du côté de la ville, en sens inverse du courant qui les a charriés. J'avais fait la même observation sur nos alluvions du canton de Vaud, en particulier sur celles de Bougy. **M. Fournet** m'a appris que, d'après des nivellements faits à sa surface, le conglomérat bressan a une pente générale de Saint-Vallier vers le nord, ce qui a fait supposer à **M. Élie de Beau-**

[1] D. A. En 1847 j'ai exploré, avec mon guide en chef des hautes régions, les environs de Lyon. Nous avons reconnu le terrain erratique provenant des Alpes: des blocs, des galets polis, striés, rayés et des roches à angles vifs. **Hans Jaun** était dans une très-grande joie de voir ces témoins erratiques et me dit: Ce quartz, blanc comme neige, je l'empoche, il me servira de pierre à feu pour battre le briquet, et de retour à Meiringen je le ferai voir à mon ami **Hans Wœhren** et lui dirai: Nos glaciers ont dans le temps voyagé en France; il sera étonné et ne voudra pas y croire, mais après avoir vu cet autre galet poli, rayé, strié, que j'enveloppe soigneusement dans du papier pour le mettre dans une petite boîte, oh alors quand il verra celui-là il dira: Ma foi, oui (typ. Donner ja), le glacier a été à Lyon!

mont que ce dépôt avait été effectué dans un lac peu profond, par un cours d'eau dirigé du sud au nord dans le sens de l'*inclinaison de la surface de son dépôt*.

Alluvions erratiques.

La nature des roches, la grosseur des matériaux, leur mode d'agrégation, la nature du ciment, la position du dépôt, son inclinaison, tout m'a rappelé l'alluvion ancienne de nos contrées, et quant à moi, je ne puis voir dans le conglomérat lacustre que l'étage inférieur des alluvions erratiques.

L'*alluvion* supérieure qui recouvre le conglomérat repose sur lui en stratification concordante. Sa puissance varie de 1 à 20 mètres; elle se compose d'un grand nombre de couches de gravier, sable et limon, dont les supérieures ne sont pas toujours horizontales; on les dirait formées, dans quelques endroits, par un ensemble de petits torrents qui auraient changé fréquemment de lit. Dans le chemin qui conduit du faubourg Saint-Clair au fort Montessui, ces stratifications sont disposées en voûte; c'est un ensemble de dépôts concentriques de quelques centimètres d'épaisseur, sur un diamètre de 10 mètres approximativement. **M. Fournet** m'a fait remarquer que souvent le diluvium est plaqué en forme de manteau contre les escarpements, les inégalités du sol, qu'il tapisse ainsi les hauteurs des environs de Lyon, depuis le niveau de la Saône à 162, jusqu'à 450 mètres au-dessus de la mer; les alluvions du bassin du Léman atteignent 514 et 585 mètres. En général, je crois avoir observé que la stratification est d'autant moins régulière que l'on s'approche de la surface du sol. **M. Necker** a donné, dans ses *Études géologiques des Alpes*, plusieurs coupes des dépôts alluviens des environs de Genève.

Blocs anguleux, polis et striés.

Le conglomérat lacustre est formé de cailloux alpins, dont les plus gros atteignent le volume de la tête d'un enfant et y sont rares; mais je n'ai vu de *blocs anguleux* que dans l'alluvion supérieure: ils sont fréquents dans toute son épaisseur; ils atteignent souvent une grosseur de plusieurs mètres cubes et offrent ordinairement des traces de poli et des stries; ils sont placés dans un ensemble de couches de limon, sable et gravier, et rappelleraient la disposition des moraines si les dépôts voisins n'étaient pas stratifiés. Cette disposition est inexplicable d'après la théorie des courants, qui d'un côté auraient opéré un véritable triage et formé des couches, et de

l'autre auraient intercalé de gros blocs, contre les lois de ce même triage[1]. En admettant que le glacier, dans une de ses périodes, a fait barrage contre les torrents, que ce glacier continuait de se mouvoir et de charrier des blocs, on peut se rendre compte de la disposition dont nous venons de parler et de la présence, sur ces blocs, de poli et de stries, phénomène que nous retrouvons dans le voisinage des glaciers actuels et qui n'a jamais été observé dans aucun courant d'eau[2].

[1] Un petit nombre des géologues, qui adoptent les courants, ont essayé de déterminer la vitesse capable de transporter les blocs erratiques, mais ils n'ont pas indiqué en même temps les effets qui en sont le résultat, sous le rapport de la distribution des matériaux, de la stratification. Pour le transport des gros blocs, on admet une force en dehors de tout ce que nous connaissons ; pour les menus débris et la stratification, on admet une force analogue à nos torrents. Mais comme ces dépôts ont été formés par une seule débâcle, d'après la théorie des courants on ne peut comprendre la combinaison de ces deux forces dans un seul instant. **M. Escher von der Linth**, père, suppose cette vitesse de 175 pieds par seconde. Les eaux provenaient de lacs qu'il suppose avoir existé dans toutes les vallées alpines. **M. L. de Buch** avait d'abord indiqué le chiffre de 19,460 pieds par seconde ; il le réduisit plus tard à 354 pieds. « Le courant, dit-il, tant par son extrême rapidité que par le mélange de la grande quantité de matières terreuses qu'il « tenait en suspension, était capable de vaincre suffisamment l'action de la gravité sur « les blocs, pour les *empêcher de tomber ailleurs que sur les digues que ce courant* « *rencontrées dans son cours.* »

[2] Lorsque le lac Léman est bien agité, la vague entraîne dans certains points des cailloux qui atteignent la grosseur d'une tête de chat ; ces cailloux sont lancés contre les murs et les rochers qui bordent le lac ; ces rochers et ces murs ne portent *aucune trace de stries ;* ils sont simplement arrondis sans être *polis ;* cependant rien ne devrait plus ressembler aux courants diluviens que les vagues sur les bords du lac, surtout si on se rappelle que, le 18 juillet 1841, ces vagues ont enlevé des masses énormes ; en particulier, elles ont arraché et jeté à sept mètres de distance un bloc de marbre du poids de 50 quintaux, placé pour soutenir un glacis au bord du lac à Vevey, près de la maison de mon ami Bérengier.

On compare quelquefois les courants à des torrents boueux. Nous avons eu occasion de voir l'éboulement boueux de la dent du Midi en 1835. Les blocs étaient à dos-d'âne au centre du courant et la boue coulait des deux côtés. Il est resté un groupe de blocs à une petite distance de la route de Saint-Maurice. La surface des blocs est arrondie et émoussée, mais pas polie. Il y a bien quelques blocs dont une face est polie et striée ; l'un d'entre eux présente même une surface d'une vingtaine de pieds carrés, couverte de stries parallèles, mais cela nous a paru être le résultat de l'action d'un glacier à l'époque où la roche était en place. Cet ancien poli n'est pas contemporain des autres surfaces du bloc.

C'est un point qui mérite l'attention des géologues que de rechercher s'il existe une autre cause que les glaciers, qui puisse polir et strier les cailloux et les roches. (D. A. Cette autre cause existe très-exceptionnellement.)

La partie supérieure du dépôt est formée de terre rougeâtre, dans laquelle les coquilles suivantes ne sont pas rares : *Helix hispida*, *H. arbustorum*, *Succinea oblonga*, *Cyclostoma elegans*, *Pupa*. C'est **M. Fournet** qui m'a nommé ces espèces[1]. On trouve fréquemment dans l'alluviou des fragments fossiles bien conservés de *Rhinocéros*, *Éléphant*, *Cerf*, *Mastodonte*. Ces débris ont-ils été remaniés ou appartiennent-ils à cette formation ?

Les travaux que l'on vient de faire au fort Montessui, qui couronne toutes ces alluvions, ont mis à nu une quantité de blocs erratiques, des serpentines, des gneiss, des calcaires des Alpes. Plusieurs de ces blocs sont anguleux et portent des traces de poli et de stries; il y en a de plusieurs mètres cubes de volume. M. le professeur **Fournet** a obtenu des officiers du génie que, dans l'intérêt de la science, on conserverait ces témoins du phénomène erratique. Du sommet de la colline l'on peut suivre toutes les modifications du sol qui apparaît sous formes d'étages peu distincts. Ces dépôts finissent brusquement le long du Rhône, comme ceux que nous avons observés sur les bords du lac Léman.

Nous croyons que ces dépôts se sont accumulés pendant une seule période de l'époque des glaciers, la période alluvienne, celle que nous avons figurée dans notre carte du bassin du Léman. Leur éten-

[1] **M. Alex. Braun**, faisant des recherches dans le *lœss*, sorte de dépôt détritique arénacé, qui date des premiers temps de la période diluvienne, y a trouvé les mollusques suivants : *Helix arbustorum*, *H. hispida*, *H. montana*, *H. crystallina*, *H. pulchella*, *H. fulva*, *H. pygmæa*, *Achatina lubrica*, *Pupa dolium*, *P. marginata*, *P. edentula*, *P. secale*, *Vertigo pygmæa*, *Clausilia roscida*, *C. parvula*, *C. gracilis*, *Succinea amphibia*, *S. oblonga*. **M. de Charpentier** fait remarquer que toutes ces espèces vivent actuellement dans les endroits ombragés et frais des Alpes et du Jura ; il y en a même plusieurs qui aiment l'humidité. Il a de plus reconnu parmi les échantillons de l'*Helix arbustorum* que **M. Braun** lui a envoyés, plusieurs individus qui appartiennent évidemment à sa variété *alpicola*, que l'on rencontre dans les Alpes jusqu'à une élévation de 7000 pieds.

Ces mollusques sont quelquefois accompagnés des mammifères suivants : *Elephas primigenius*, *Equus caballus fossilis*, *Bos priscus*, *Cervus euryceras fossilis*. Il n'est guère probable que l'éléphant ait pu prospérer dans un climat aussi frais que celui qui convient aux mollusques que je viens d'énumérer (*Essai sur les glaciers*, p. 336).

Il est bien remarquable de trouver les mêmes fossiles dans des alluvions analogues à Lyon, à la Sésille près de Nyon et sur les bords du Rhin, dans le grand-duché de Bade, et que les mêmes espèces de coquilles ne se retrouvent vivantes aujourd'hui que dans les montagnes de la Suisse.

due considérable ne nous a pas étonné, quand nous avons vu l'Aubonne, petite rivière du canton de Vaud, parcourant 2 à 3 lieues de pays, former les énormes dépôts de Bougy sur une surface de 2 lieues de largeur, avec une puissance de 450 pieds.

Tout comme il n'est pas facile de se rendre compte par des courants liquides de la distribution des blocs erratiques dans les vallées des Alpes, et qu'on l'explique plus facilement au moyen d'un agent solide, d'un glacier par exemple, il en est de même pour les alluvions. Les géologues qui expliquent le phénomène par des courants, sont obligés d'admettre qu'ils sont partis de l'extrémité de toutes les vallées alpines et ont rongé en passant les alluvions accumulées sur leur passage par les agents atmosphériques[1]; ces courants, quoique très-rapides, arrivés dans une vallée à angle droit, ne se seraient pas jetés sur la rive opposée, où ils n'auraient déposé aucun débris; ils auraient pivoté à leur embouchure dans des courants plus considérables, sans enlever les dépôts accumulés au point de jonction, point où ces dépôts sont ordinairement le mieux conservés. Ils seraient arrivés dans les grandes vallées, où le courant le plus éloigné, augmenté dans sa course de tous les courants latéraux, aurait balayé l'embouchure de tous les courants qu'il rencontrait, et donné la forme actuelle des berges que présentent les divers torrents à leur embouchure dans le Rhône. Mais on chercherait en vain, à l'endroit où la force a dû cesser, l'énorme dépôt alluvien provenant des débris accumulés de tous les autres (voy. **de Saussure,** *Lithologie de la Crau*, § 1595). Il faut supposer des masses d'eau énormes. D'où pourrait provenir l'eau qui a jailli, par exemple, des environs du Saint-Gothard, et qui a été en rayonnant transporter l'énorme quantité de blocs et de débris alpins que l'on rencontre dans toutes les vallées alpines et les plaines voisines des Alpes, jusqu'à une distance de plus de 66 lieues[2]? On ne comprend pas pourquoi le courant qui a charrié les roches du Valais n'a pas

[1] Ce n'est pas la même force qui aurait formé les dépôts et opéré plus tard l'érosion. Les alluvions de Jongny, Bougy, Nyon (canton de Vaud) ont été formées par des torrents qui coulaient dans une direction inverse à celle d'un courant venant des Alpes.

[2] C'est, selon l'estimation de **M. de Charpentier,** la distance qu'ont dû parcourir les *blocs du Steinhof* depuis la vallée de Binnen (*Essai sur les glaciers*, p. 128 et 302).

assé le fort de l'Écluse[1], car cette ouverture existait déjà à cette que, ainsi que le prouvent les alluvions que l'on observe sur les cs de la crevasse. Pourquoi le courant n'a-t-il pas continué jus- la mer ? Avec la grande vitesse qu'on est obligé d'accorder à courants pour le transport des gros blocs, comment expli- cette distribution régulière du terrain erratique qui s'observe la plaine suisse, ces cantons si distincts du Rhône, de l'Arve, Aar, de la Reuss, de la Limmat, que les belles recherches de **Guyot** nous ont fait connaître ? On n'est pas plus heureux, qu'il faut se rendre compte de ces dépôts non stratifiés, soit ines qui forment des barres à travers nos vallées alpines, de lépôts stratifiés d'alluvions alpines disposés en étages, de ces illes terrestres si bien conservées que l'on trouve dans quel- alluvions.

hypothèse des glaciers a du moins ceci de commode, *c'est le rend compte de tous les détails.* L'hypothèse des glaciers rend compte de tous les détails.

uelques géologues ont admis comme origine des courants, la e subite des glaciers par la roche primitive ignée, lors de son rition dans les Alpes; elle serait venue en contact avec la glace, ce contact serait résultée la fusion instantanée de cette glace s courants d'eau qui auraient transporté les blocs et débris er- ques. Nous doutons que ce contact eût produit beaucoup d'eau; rait plutôt donné lieu à des vapeurs. De plus, l'étude des lieux, sition du terrain erratique sur les roches primitives des Alpes prouvent que le phénomène erratique est beaucoup postérieur elèvement de ces Alpes par la masse primitive. La quantité de aines que l'on observe en descendant du glacier du Rhône, erait aussi à croire que s'il a existé des glaciers sur les Alpes, postérieurement à l'apparition de la roche primitive[2]. Alors

s eaux n'ont pas transporté des fragments de blocs alpins au delà du Credo (**De sure**, *Voyage dans les Alpes*, t. I, p. 159).

uant à la question de l'âge relatif de l'époque du soulèvement et de l'époque du , voici l'opinion de **M. de Charpentier.** « Si la dispersion des débris erratiques t en quelque sorte accompagné le soulèvement des Alpes, ou l'avait suivi de très- , on devrait trouver ces débris *généralement* recouverts et ensevelis par le dilu- , ce qui cependant n'a pas été observé par **M. Mousson** dans la Suisse orien- , ni par moi dans la Suisse occidentale » (*Essai sur les glaciers*, par **J. de Char- er**, p. 339).

comment le granit se trouvait-il déjà dans le diluvium avant l'arrivée des courants qui ont fait érosion?

Rien ne prouve qu'à l'époque du relèvement des Alpes par la masse primitive, une partie du pays fût recouverte par les glaciers; ce que nous connaissons de cette époque-là prouverait plutôt le contraire.

Dépôts de Lyon à Avignon.

R. B. 4. Revenons aux alluvions du Rhône; en descendant ce fleuve de Lyon avec le bateau à vapeur, nous avons retrouvé dans le voisinage de la plupart des torrents d'un certain volume, des dépôts analogues à ceux que nous avons observés dans le bassin du Léman; ils sont aussi proportionnels au volume d'eau qui les avoisine.

Sainte-Colombe.

A *Sainte-Colombe*, vis-à-vis de Vienne (Isère), il existe un petit dépôt en dessous de la ville; on en voit un autre au-dessus des

Tain.

Roches, vis-à-vis de Condrieux[1]. Au-dessus de *Tain*, dans le voisinage de *La Roche*, se trouvent les alluvions de l'Isère, sur une étendue de plusieurs lieues. J'ai cru y distinguer trois étages et n'ai observé de dépôts que sur la rive à droite de l'embouchure.

Charmes.

On voit un petit dépôt près de *Charmes*.

Lavoulte.

Les alluvions de l'Érieux sont entre *Lavoulte* et la rivière.

Voici l'ordre que le même géologue assigne aux phénomènes diluviens, depuis le dernier soulèvement des Alpes : « 1° configuration du sol des vallées et de la plaine entre les Alpes et le Jura; 2° dépôt du terrain diluvien; 3° dépôt du terrain erratique » (*Essai sur les glaciers*, p. 328).

En suivant avec attention les dépôts erratiques, les moraines, les blocs depuis la plaine jusqu'aux moraines frontales des glaciers actuels, on se convaincra que tous ces dépôts appartiennent au même phénomène, qu'ils se lient intimement entre eux. Si un relèvement avait lieu depuis cette époque, cette liaison n'existerait plus. C'est à la suite d'une course que je fis en 1836 à Auziendaz, avec **MM. de Charpentier, Agassiz** et mon beau-frère **Fr. de Thielmann**, que je devins partisan de l'hypothèse des glaciers. **M. de Charpentier** nous fit suivre tous les phénomènes de détail, les moraines, les roches polies et striées, depuis la plaine jusqu'au glacier de Panerossaz; nous avons pu comparer ce qui se passe actuellement devant le glacier, avec ce qui s'était passé sur le terrain que nous avions parcouru. J'ai retrouvé depuis le même ensemble de Berne au glacier de l'Aar et dans les vallées alpines terminées par un glacier que j'ai parcourues.

Le phénomène est plus compliqué dans le dépôt de Bougy, et bien davantage encore dans les environs de Lyon, mais c'est une raison de plus de l'étudier.

[1] M. le professeur **Fournet** donne aux étages le nom de *talus d'entraînement*. Il en a observé plusieurs auprès de Condrieux, et une foule le long des montagnes de l'Ardèche.

elles de la Drôme se trouvent sur la rive gauche de la rivière, s le voisinage de *Loriol;* je n'ai pas bien pu observer si leur position est aussi étagée. Loriol.

n trouve des alluvions sur les deux rives, à l'embouchure de dèche. Embouchure de l'Ardèche.

es alluvions de la Durance m'ont paru plus étendues que celles rivières voisines. **M. Requien** a observé aussi trois étages: aux environs d'*Avignon*, à une hauteur de 15 mètres au-dessus Rhône; le second à *Gadane*, à 50 mètres; et le troisième à *teauneuf-du-Pape*, à 80 mètres de hauteur. Avignon. Gadane. Châteauneuf-du-Pape.

'est sur le flanc septentrional de la chaîne de montagnes qui sé- Aix de Marseille et qui est couronnée par Notre-Dame-des- es, que se trouvent les derniers fragments de blocs erratiques; glaciers auraient envahi toute la plaine de la Crau, et le fleuve s'écoulait du glacier aura probablement charrié les sables jus- près de Nîmes et de Montpellier. Nîmes et Montpellier.

e Lyon à Avignon, toutes les montagnes qui bordent le Rhône arrondies, leurs arêtes ont disparu, on ne voit pas de dents ir des déchirures de leur relèvement. **M. Agassiz** a donné aux mités ainsi modifiées le nom de *roches moutonnées;* il signale e apparence comme caractéristique des montagnes qui ont été ouvertes par les glaciers, et peu de localités moutonnées des es m'ont paru aussi pelées, râpées, que les montagnes *primi-* et secondaires qui encaissent le Rhône. On ne voit que deux melons basaltiques qui font saillie près de *Rochemaure* (Ardèche), ne petite dent sur la montagne de *Viviers* (Ardèche). Toutes les hes détachées ont été balayées. De Lyon à Avignon toutes les roches sont arrondies (moutonnées).

'ai été visiter la vallée d'Auriol, au levant de Marseille. Là les ntagnes ont conservé leurs arêtes; les déchirures de relèvement distinguent facilement; près de ces déchirures on voit une ntité de blocs détachés; je n'y ai rencontré ni blocs ni alluvions atiques. Vallée d'Auriol.

'Avignon à Valence, presque tous les torrents, l'Œgues, le son, la Berle, la Rialle, la Drôme, arrivés dans la plaine, cou- dans un lit plus élevé que la plaine elle-même; des digues obablement artificielles empêchent ces torrents de se répandre les terres. Ce sont ces digues qui maintiennent une certaine Avignon à Valence.

force d'impulsion au cours d'eau et lui permettent d'entraîner ses débris dans le Rhône ; sans cela le cône de décombres de chaque torrent continuerait à s'élever.

L'opinion est assez répandue dans ces contrées que le lit du Rhône s'élève ; on dit qu'il s'est élevé d'un mètre en 1840, mais on n'a pu me donner aucune preuve de cet exhaussement[1].

Le lit du Rhône n'a pas changé de hauteur à Lyon.

M. Fournet croit que le lit du Rhône n'a pas changé de hauteur à Lyon, il se fonde sur les faits suivants : une ancienne prise d'eau, construite par les Romains, pourrait encore servir aujourd'hui au même usage ; la base des vieux ponts, tel que celui de la Guillotière, n'est pas encombrée.

En nous résumant, nous trouvons que, pour maintenir l'hypothèse des courants, on est obligé d'admettre une espèce de *merveilleux*, des forces extraordinaires, surnaturelles et ne suivant pas les mêmes lois que nous observons aujourd'hui pour des phénomènes analogues ; ainsi les courants diluviens arrivés dans la plaine creusaient leur lit dans les alluvions au lieu de l'élever comme les courants actuels, ou bien ces courants transportaient à la fois de la boue, du gravier et de gros blocs, avec une vitesse extraordinaire, et n'en déposaient pas moins des couches distinctes et régulières de limon, gravier et sable. Les courants ne déposaient pas de cônes de décombres. Les blocs entraînés conservaient une partie de leurs arêtes et cependant leurs faces portaient des traces de poli et des stries.

L'hypothèse des glaciers ne change rien aux lois et forces admises et n'a besoin, pour sa réalisation, que la supposition d'un abaissement de température de quelques degrés.

Quant à la cause de cet abaissement, **M. de Charpentier** a émis son opinion sur ce sujet : ce sont, dit-il, les eaux pluviales, fluviales, lacustres ou marines qui ont pénétré par la multitude de crevasses formées par le dernier soulèvement alpin ; ces eaux, en contact avec la masse ignée, se sont réduites en vapeurs[2], qui,

[1] Nous rappellerons l'opinion que nous avons émise dans notre premier mémoire, au sujet du cours du Rhône, de Saint-Maurice au lac Léman, où le lit paraît naturellement s'exhausser ; il serait possible qu'aux environs d'Avignon il en fût de même : c'est une question à étudier. Voyez l'opinion de **de Saussure**, § 1572, *Alluvion de la Durance*.

[2] Nous rappellerons la note qui se trouve à la p. 317 de l'*Essai sur les glaciers*. **M. Pœppig**, en parlant des vapeurs qui s'échappent du volcan d'Antuco, nous dit :

se répandant dans l'air et se convertissant en brouillards et en nuages, ont intercepté les rayons du soleil et diminué son action calorifique. Le climat de ces contrées devient plus humide et plus froid (voy. *Essai sur les glaciers*, §§ 81 et 82).

M. Agassiz a cherché dans quelques localités de l'Europe des preuves d'une température plus basse à une époque correspondante à celle des glaciers. Ainsi dans les alluvions de l'Écosse il a trouvé des coquilles mortes qui n'existent vivantes aujourd'hui que dans les contrées les plus septentrionales de l'Europe. Il a aussi reçu de Sicile des mollusques qui ne vivent plus sur les côtes de la Méditerranée, mais seulement dans le nord des îles Britanniques.

Ajoutons à cela que **M. Alex. Braun** a trouvé dans le *lœss* du grand-duché de Bade les mêmes espèces de coquilles terrestres que l'on rencontre fossiles dans la partie supérieure des alluvions de Lyon : *Helix hispida*, *H. arbustorum*, *Succinea oblonga* etc., et que les mêmes espèces ne vivent aujourd'hui que dans les montagnes de la Suisse, où elles atteignent, d'après **M. de Charpentier,** une altitude de 7000 pieds (2275 mètres). Voilà un autre jalon.

Du reste, lors même que nous n'arriverions pas à connaître la cause du refroidissement, ce ne serait pas une raison pour ne pas l'admettre, lorsqu'un ensemble de faits semble le prouver.

« Ce phénomène, qui n'est point le résultat d'une illusion d'optique, a été fréquemment « observé à Antuco : c'est la transformation de ces vapeurs en véritables nuages. . . . Ils « finissent par s'attacher aux cimes des montagnes, où il se mêlaient toujours le soir « avec les brouillards qui s'élevaient du fond des vallées ; ce dernier accident était im- « manquablement suivi d'un pluie. Une longue expérience a tellement convaincu l'habi- « tant d'Antuco, qu'il envisage le volcan comme créateur des nuages » (*Voyage au Chili*, t. 423).

A la suite de quelques années pluvieuses, d'après **M. de Charpentier,** le glacier du Rhône a avancé, en 1818, de 150 pieds (48 mètres); le même géologue ne demande que 774 années comme celle de 1818, pour faire avancer le glacier du Rhône de 900,000 pieds (276 kilomètres), soit 66 lieues que mesure la route du fond du Valais à Soleure, route qu'ont suivie les blocs du Steinhof (*Essai sur les glaciers*, p. 302).

ALTITUDE ET PENTE DU RHONE.

INDICATION DES LIEUX.	Distances partielles.	Distances cumulées.	Ordonnées au-dessus de la mer.	Pentes moyennes par kilomètres
	kilomètres.	kilomètres.	mètres.	mètres.
Embouchure du Rhône	0,000	0,000	0,00	0,000
ARLES.	41,700	41,700	2,22	0,053
Tarascon	15,580		6,71	0,288
Roquemaure	45,580		24,50	0,391
Embouchure du Lez.	21,420		86,17	0,545
VALENCE	95,390	215,610	107,00	0,742
Embouchure de l'Isère	6,276		111,36	0,694
» de la Galaure	28,068		127,21	0,565
» du Bancel	7,096		130,63	0,482
» du Dolon.	8,920		134,69	0,444
» de la Varaise	14,690		142,07	0,509
Vienne	16,530		149,38	0,442
Givors.	11,015		154,61	0,474
LYON	15,170	327,375	162,86	0,543
Thil.	20,000		181,50	0,932
Embouchure de l'Ain	15,500		191,50	0,645
Le Sault	28,000		200,00	0,303
Port Bigarre	3,500		202,50	0,714
Groslée	22,100		209,00	0,294
Cordon	12,500		215,00	0,480
Le PARC (où finit la navigation actuelle).	61,800	490,775	274,00	0,954
Bellegarde	12,500		297,59	1,887
Perte du Rhône	2,918		308,81	3,845
Moulin-Neuf (sous Chevrier).	8,595		326,54	2,063
Frontière de la France et de la Suisse.	4,591		336,12	2,086
Moulin de Charlux	5,250		344,85	1,663
Ruisseau de Charmilles	3,880		350,15	1,366
Bois de Bay.	6,270		361,00	1,730
Moulin de Vaux.	5,100		367,40	1,255
Lac Léman	5,218	545,907	375,00	1,456

Nous pouvons, pour le moment, ajouter les localités suivantes :

		Distances du lac.
Porte du Scex.	390,0	
Massonger	401,8	
Pont de Saint-Maurice	410,8	4 1/2 lieues.
Lavey	432,0	
Martigny	475,0	8 lieues.
Embouchure de l'Iserable	490,0	
Riddes	505,0	
Près Sion	513,0	13 »
Brieg.	665,0	24 »
Pied du glacier du Rhône	1684,0	35 »
Pied du glacier de Pannérossaz	2371,3	10 »

PHÉNOMÈNES ERRATIQUES

EN SCANDINAVIE

COMPARÉS A CEUX DES ALPES[1].

Introduction.

E. D. 1. Entre les phénomènes erratiques du nord et ceux des Alpes l'analogie est si grande qu'on est naturellement porté à les attribuer à une cause commune. C'est ce qu'ont fait les partisans des deux grandes théories qui partagent aujourd'hui les géologues (la théorie glacière et celle des courants). Les uns et les autres reconnaissent l'identité des faits, mais en les interprétant d'une manière différente[2]. Par contre, cette identité est contestée par une partie des géologues scandinaves, spécialement par ceux qui rapportent le phénomène tout entier à l'action des flots de la mer[3].

La question se pose dès lors naturellement en ces termes : *La disposition du terrain de transport du Nord, le poli des rochers et la direction des sulcatures sont-ils en tous points semblables à ceux des Alpes, ou bien la ressemblance n'est-elle qu'apparente, et dans ce cas quelles sont les particularités qui les distinguent ?*

La question ainsi posée, ce n'est que par une étude comparative des phénomènes erratiques dans les deux pays que l'on peut espérer la résoudre. Jusqu'ici, il faut l'avouer, tout en étudiant

[1] D. A. *Phénomène erratique du nord comparé à celui des Alpes*, par **Édouard Desor.** Extrait du *Bulletin de la Société géologique de France*, 2e série, t. IV, p. 182 et suiv. (séance du 16 novembre 1846).

[2] E. D. C'est peut-être le seul point de la question sur lequel **MM. de Buch** et **Élie de Beaumont** soient d'accord avec **MM. Agassiz** et **de Charpentier.**

[3] E. D. C'est la théorie que **M. Forchhammer** a développée dans son article de *Poggendorffs Annalen*, vol. LVIII.

avec soin les phénomènes locaux, on les a en général envisagés sous un point de vue trop exclusif. Peut-être eût-il été à désirer que les auteurs qui ont écrit sur la Scandinavie eussent eu une connaissance plus complète des phénomènes alpins ; de même qu'il est à regretter que les observateurs des Alpes n'aient pas tous visité la Scandinavie.

Ayant eu l'avantage de prendre une part active aux recherches que **M. Agassiz** a faites, pendant huit années consécutives, dans les différentes régions des Alpes et particulièrement au glacier de l'Aar, j'ai voulu étudier à mon tour le terrain *erratique de la Scandinavie*, et m'assurer jusqu'à quel point les objectios que l'on en a tirées contre l'application de la théorie glaciaire sont fondées.

Je n'ai pas la prétention de discuter, dans ce mémoire, tous les faits qui peuvent en être rattachés à cette grande question, ni d'apprécier toutes les conséquences géologiques qu'on en a tirées. Mes observations se borneront à deux points principaux, savoir : *les surfaces polies avec les sulcatures* qui les accompagnent, et le *terrain de transport*, considéré dans ses différentes formes.

Surfaces polies. Roches ballonnées, moutonnées.

E. D. 2. *Les roches polies* existent sur une bien plus grande échelle en Scandinavie qu'en Suisse. A proprement parler, le sol tout entier de la Scandinavie n'est qu'une vaste surface polie. S'il arrive que sur un point quelconque les polis échappent à l'observation, il suffit d'enlever la couche du diluvium qui recouvre le sol pour les retrouver avec leurs sillons et leurs stries caractéristiques. S'ils sont complétement effacés d'une colline ou d'un ravin, l'œil exercé n'en reconnaît pas moins, dans les *formes ballonnées* des rochers, qui sont l'analogue des *roches moutonnées* des Alpes, les traces du gigantesque rabot qui a façonné tous les reliefs.

Sulcatures. Sillons. Cannelures. Stries. Stries rectilignes. Cannelures. Larges sillons (cylindres creux ou coups de gouge).

E. D. 3. *Les sulcatures*[1], plus nombreuses et souvent mieux conservées qu'en Suisse, ont, en général, le même caractère. Elles se présentent soit sous la forme de *fines stries rectilignes*, dont on reconnaît les traces partout où les polis sont bien conservés, soit sous la forme de *cannelures* quelquefois très-longues, rappelant celles qui se voient dans plusieurs vallées des Alpes, en particulier dans la

[1] E. D. J'emploie ce nom dans le sens général que semble y attacher **M. Durocher**, en comprenant par là tous les sillons, sans égard à leurs dimensions, c'est-à-dire les cannelures, les fines stries aussi bien que les grands sillons.

llée de Hasle, en amont des chalets de Im-Boden, sur la rive uche de l'Aar. D'autres fois ce sont de *larges sillons* qu'on a dési- és sous le nom de *cylindres creux*. Ils sont tantôt rectilignes, tantôt ;érement courbés, mais jamais ramifiés, et leur surface est sou- ıt couverte des mêmes fines stries rectilignes qui se retrouvent les surfaces environnantes. J'ai vu de fort beaux exemples de *sillons* sur les deux rives du fiord de Christiania, où la roche de gneiss, et le long de la route de Christiania à Krogleben, sur porphyre. On en voit aussi aux environs de Stockholm, sur les du Mælar, ainsi qu'aux environs de Waxholm, dans la Bal- e.

es *sillons* ou *cylindres creux* sont, à plusieurs égards, les ana- ıes des *sillons* que **M. Agassiz** a décrits et figurés sous le nom *oups de gouge*, et qui sont dus au frottement de gros galets. Lors- ces galets se trouvent pris entre la glace et la roche, ils sont és avec une telle force contre les parois du rivage, qu'ils en- ent les rochers les plus durs. On pouvait voir, il y a quelques ées, un exemple frappant de ce mode de formation des *cylindres x* sur la rive droite du glacier de Rosenlaui, où un galet de ıit venait de creuser un large sillon dans la roche calcaire du ge. Ces *sillons* ne sauraient donc être une objection à la théorie glaces, comme on l'a prétendu, puisque nous voyons les glaciers ormer tous les jours de pareils sous nos yeux. *En revanche, ils nt une difficulté insurmontable pour la théorie des courants et r celle des vagues, aussi longtemps que l'on n'aura pas prouvé que agents ont la faculté de tracer de fines raies dans l'intérieur des ns.*

Les sillons creusés par les eaux n'ont jamais de stries dans l'intérieur.

. D. 4. Il est à peine nécessaire de rappeler que ces *sillons rec- gnes*, ou simplement *arqués*, n'ont rien de commun avec les *aux creusés* par la vague, dont on voit de fort beaux exemples la côte occidentale de la Suède, à l'entrée du fiord de Gothen- rg, ainsi que dans plusieurs îles du fiord de Christiania[1], et n retrouve avec les mêmes caractères sur les bords des lacs ses. Ils sont, à la vérité, polis comme les sillons glaciaires,

D. La fig. 2, pl. II, représente une surface polie, à côté de la cascade de Hunne- en Norwége, sur laquelle les *sillons tortueux*, creusés par l'eau, se voient à côté *llons et des cannelures glaciaires.*

stries, et comme ces couloirs se trouvent de préférence sur les îles basses, tandis qu'ils manquent généralement sur les croupes des montagnes, **M. Scherer** en conclut que l'agent qui les a creusés a dû agir avec beaucoup plus d'intensité au fond des vallées que sur les plateaux et les collines. Quant à la distribution inégale de ces couloirs, l'auteur en cherche l'origine dans la durée inégale de la roche, qui aurait été entamée plus profondément par l'agent erratique là où elle est plus désagrégeable. Mais si les courants mentionnés auxquels il attribue le phénomène erratique avaient réellement été assez forts pour creuser au milieu du fiord des couloirs pareils, on n'entrevoit pas pourquoi on ne leur attribuerait pas aussi la formation des grandes vallées et des fiords eux-mêmes; et c'est, en effet, l'opinion de **M. Scherer**[1]. Mais alors l'effet n'est plus en proportion avec la cause. Du moment qu'on invoque l'inégale dureté de la roche pour expliquer la formation des couloirs, rien n'empêche de supposer qu'ils ont été creusés *avant* la période diluvienne, car il est probable que l'atmosphère exerçait alors la même action sur les rochers que de nos jours. Dans cette hypothèse, qui me semble très-naturelle, les couloirs seraient antérieurs au phénomène erratique, qui n'aurait fait que les polir, les rayer et peut-être les élargir.

Sillons, stries fines perpendiculaires à la direction générale des sulcatures.

E. D. 7. Enfin, il me reste à mentionner une dernière espèce de *sillon*, dont l'explication semble offrir plus de difficultés. J'ai vu sur la rive orientale du fiord de Christiania, près d'une maison de pêcheur, appelé *Lille Kneppe*, à une demi-heure de la ville, un sillon d'une largeur variable de 30 à 60 centimètres et d'une profondeur à peu près égale, creusé dans la paroi du rivage en un endroit qui est très-escarpé et couvert de stries longitudinales. Ce sillon n'est pas *anastomosé*, mais il est *très-bien poli*, et l'on distingue dans son intérieur de fines stries dirigées dans le sens de la pente, et par conséquent perpendiculaires à la direction générale des sulcatures. Je n'entrevois qu'une manière d'expliquer ces stries exceptionnelles, c'est de supposer qu'il existait en ce point un glacier latéral, s'avançant perpendiculairement à la grande vallée, semblable aux affluents latéraux des grands glaciers des Alpes, mais

[1] *Poggendorff, loc. cit.*, p. 281.

dont les vestiges auraient été plus tard effacés par le glacier principal, à l'exception de ceux qui se trouvaient au fond des couloirs trop étroits pour que la glace ait pu s'y mouler [1].

Les sulcatures sont en général parallèles sur un point donné. Les stries fines se croisent quelquefois sous des angles de 40 à 60 degrés et plus, comme dans les Alpes.

E. D. 8. A part ces exceptions, les différentes espèces de sulcatures sont en général parallèles sur un point donné. Il n'y a guère que les stries fines qui se croisent quelquefois sous des angles considérables, de 40 à 60 degrés et davantage, comme cela se voit d'ailleurs sous les glaciers et sur les parois des vallées qui les encaissent [2].

La mer n'est pas une limite pour les sulcatures, car on les voit plonger sous les eaux sur une foule de points du littoral, aussi loin que l'œil peut pénétrer. Il a été en outre fait la remarque que les polis et les sulcatures sont plus nets le long des côtes et sur les rives des fiords, qu'au sommet des collines ou sur les plateaux, et l'on a voulu voir dans ce fait une preuve en faveur de la théorie qui attribue les polis à l'action de la vague. Il existe en effet une zone de quelques mètres de largeur immédiatement au-dessus de la mer, où l'éclat des polis est beaucoup plus vif et le burinage plus parfait qu'ailleurs. Mais cette circonstance, loin de prouver en faveur de l'action de la mer, lui est plutôt contraire. Si les polis et les stries sont plus distincts et mieux conservés dans la zone en question, ce n'est pas parce que la vague les renouvelle (ce qui est impossible du moins à l'égard des stries), mais parce qu'elle empêche les lichens de prendre pied aussi loin et aussi haut qu'elle peut atteindre. Or on sait que rien n'altère plus la surface des rochers que la végétation des lichens.

Côté d'amont, côté choqué (*Stossseite*), côté d'aval, côté préservé (*Leeseite*).

E. D. 9. On a beaucoup insisté, dans ces derniers temps, sur la différence qui existe sous le rapport des polis entre les différentes faces des îles et des rochers saillants qui ont subi l'action erratique. Nous savons que la face tournée du côté d'amont (*Stossseite*) est toujours arrondie, polie et striée, tandis que la face opposée (*Leeseite*)

[1] D. A. Ces stries fines dans les sillons, et qui sont dirigées dans le sens de la pente et perpendiculaires à la direction générale des sulcatures, se voient dans les Alpes, sur les roches dont sont encadrés les glaciers en activité (voy. nos *Matériaux pour l'étude des glaciers : Glaciers en activité*).

[2] E. D. **M. Durocher** se trompe lorsqu'il affirme que les angles sous lesquels les stries se croisent dans les Alpes ne dépassent pas 15 à 25 degrés. **M. Agassiz** en a décrit et figuré qui sont à angles droits (voy. nos *Études sur les glaciers*, pl. XVIII).

est souvent anguleuse et dépourvue de stries et de cannelures. Cette disposition est tellement frappante le long des côtes et dans l'intérieur des vallées de la Scandinavie, qu'elle y a été remarquée depuis longtemps par le peuple des campagnes, qui désigne les collines ainsi coupées d'un côté sous le nom de *skaaret flesk* (lard entamé) parce qu'elles ont, en effet, l'air d'être entamées sur leur face préservée. Or comme cette face anguleuse est généralement en aval, il en résulte que si le polissage et le façonnement des rochers était l'œuvre de la vague, ce côté, loin d'être préservé, devrait au contraire être le mieux arrondi, puisqu'il est frappé directement par le battement des flots. Au reste, cette disposition des rochers n'est pas exclusivement propre à la Scandinavie. On retrouve le même phénomène, bien que moins développé, dans les Alpes. Il y a au-devant du glacier inférieur de l'Aar trois collines granitiques allongées dans le sens de la vallée. Ces collines sont toutes trois parfaitement arrondies du côté qui fait face au glacier; le côté opposé, par contre, est bien moins façonné et l'on n'y reconnaît aucune trace d'usure. Je connais aussi plusieurs localités où cette disposition se retrouve dans l'intérieur des glaciers. Le glacier de Rosenlaui est divisé à son extrémité en deux branches. Le promontoire qui occasionne cette bifurcation est parfaitement poli et usé en amont et sur les côtés, partout où le glacier se trouve en contact avec lui. Il est au contraire anguleux et en forme d'escalier du côté d'aval, où il est à l'abri de tout frottement[1].

M. Scherer a fait la remarque qu'en Norwége le contraste entre le côté choqué et le côté préservé est beaucoup plus frappant dans les vallées et sur le bord des fiords, que sur les plateaux, qui sont cependant aussi polis et rayés, et il demande si une pareille disposition est compatible avec l'hypothèse des glaciers. La difficulté, à mes yeux, n'est pas bien grande; c'est la conséquence d'une action prolongée des glaciers. Si, comme tout semble l'indiquer, la fonte des glaces s'est effectuée d'une manière lente et graduelle, il s'en-

[1] E. D. Le fait que les stries sont moins distinctes sur les côtés de ces rochers façonnés et qu'elles s'oblitèrent insensiblement dans le voisinage de la face préservée, ne saurait non plus être une difficulté pour la théorie glaciaire, comme le pense **M. Murchison** (*Quarterly Journal*, t. II, p. 367), attendu qu'on retrouve la même chose sur les rochers actuellement en contact avec le glacier.

suit que les glaciers ont dû séjourner plus longtemps dans les vallées et les dépressions du sol, et partant leur action doit y avoir laissé des traces plus profondes et plus indélébiles.

La direction des sulcatures en grand est assujettie aux mêmes lois que dans les Alpes.

E. D. 10. *La direction des sulcatures* en grand est assujettie aux mêmes lois que dans les Alpes. **MM. Keilhau**[1] et **Scherer**[2] ont démontré, chacun de son côté, que les stries, loin de suivre une direction unique, comme on l'avait conclu d'observations trop peu nombreuses, courent au contraire dans toutes les directions, qu'elles sont subordonnées aux reliefs du sol et dépendantes des *versants*. Cela est surtout évident dans l'intérieur des montagnes de la Norwége, où les sulcatures suivent d'une manière absolue la direction des vallées. S'il arrive qu'une vallée dévie de sa direction première pour se fléchir soit à droite, soit à gauche, on voit les stries répéter les mêmes flexions. C'est en particulier ce que **M. Siljestrœm** a observé dans la vallée de Leirdal qui, après avoir couru au sud-ouest, se coude brusquement au nord-ouest pour aller aboutir au Sognefiord. Les stries de la partie supérieure se croisent à angle droit avec celles de la partie inférieure, absolument comme les stries de la vallée du Rhône, en amont et en aval de Martigny.

En Suède, la direction des sulcatures est plus uniforme qu'en Norwége.

E. D. 11. En Suède la direction des sulcatures est plus uniforme qu'en Norwége : c'est une conséquence naturelle du relief du pays, qui est beaucoup moins accidenté que le sol de la Norwége. On sait que dans toute la partie méridionale de la presqu'île les sulcatures courent généralement du nord au sud, avec des déviations plus ou moins considérables tantôt à l'est, tantôt à l'ouest. C'est ce dont il est facile de s'assurer en longeant le Göte-Canal, entre Gothenbourg et Stockholm. Après les avoir trouvées dans la première de ces villes, courant au sud-sud-ouest, je les ai vues abandonner insensiblement cette direction à mesure que j'avançais du côté de l'est, et à Stockholm je les ai trouvées orientées au sud-sud-est, décrivant par conséquent un éventail qui égale à peu près un quart de cercle[3]. La déviation est encore bien plus marquée sur les polis calcaires récemment découverts par **M. Forch-**

[1] *Nyt Magazin fur Naturvidenskaberne*, vol. III.

[2] *Poggendorff's Annalen*, vol. LXVI.

[3] E. D. **M. Durocher,** dans un mémoire spécial sur la direction des sulcatures, admet plusieurs centres d'érosion, auxquels il rapporte toutes les déviations locales.

hammer, près de Faxoë. Les stries suivent ici deux directions qui se croisent sous un angle de 40 degrés. J'ai mesuré la direction prépondérante, et l'ai trouvée courant au sud-est (143 degrés de la boussole); la seconde direction est à l'est-sud-est (102 degrés de la boussole).

Nous possédons bien moins de documents sur la partie septentrionale de la Scandinavie. Cependant **M. Siljestrœm** a trouvé les stries dirigées au nord sur les bords du fiord d'Alten, dans le Finmark, et nous savons qu'en Finlande **M. Bœthlingk** les a vues courant vers la mer Blanche[1]. En combinant ces directions avec celles qui s'observent dans les régions méridionales de la presqu'île, on trouve que les stries de la Scandinavie, comme celles des Alpes, forment un système unique qui rayonne dans toutes les directions, tout en présentant des déviations locales considérables.

En Scandinavie, comme en Suisse, les cimes qui s'élèvent au-dessus des rochers moutonnés, polis et striés, sont denteiées.

E. D. 12. Enfin une dernière analogie entre la Scandinavie et les Alpes suisses, qui n'avait pas encore été signalée jusqu'ici, c'est l'existence d'une limite supérieure des polis. J'ai montré ailleurs[2] que dans les Alpes cette limite ne dépasse guère 3000 mètres. On la voit s'abaisser d'une manière graduelle le long des flancs des vallées, à mesure que l'on s'éloigne des grandes cimes qui entourent les origines des glaciers; mais son inclinaison est plus faible que celle des vallées, et à bien plus forte raison que celle de la surface des glaciers actuels. Elle se trahit facilement à l'œil exercé par les contrastes de forme auxquels elle donne lieu. Toutes les cimes qui s'élèvent au-dessus de cette limite sont profondément disloquées et dentelées, tandis que leurs flancs, au-dessous de cette même limite sont arrondis et polis. Il est une foule d'endroits dans les Alpes où le contraste est si frappant que des géologues, d'ailleurs fort habiles, l'ont attribué à une différence dans la nature de la roche. Des contrastes pareils entre les sommets dentelés et les bases arrondies ont été observées par **M. Siljestrœm** sur les flancs du Suletinden, dans le Doverfjeld. **M. Keilhau,** de son côté, m'a assuré avoir remarqué le même phénomène aux Jotun-Fjeldene et dans les Nord-

[1] *Bullet. de l'Acad. de Saint-Pétersbourg*, t. VII.

[2] *Comptes rendus de l'Acad. des sciences*, t. XIV, p. 412.

landen (Norwége)[1]. Les sulcatures ne sont pas, en général, très-bien conservées dans ces régions supérieures; cependant **M. Keilhau** a vu des stries jusqu'à 1800 mètres de hauteur, sur le plateau Halingdalen et Hardanger, et l'on sait que **M. Siljestrœm** en a observé sur les flancs du Snöhättan à l'altitude de 1234 mètres.

L'agent qui a arrondi, moutonné, ballonné les montagnes, est le même que celui qui les a polies, striées, rayées et sillonnées.

E. D. 13. Il est probable que cette limite coïncide, comme en Suisse, avec le niveau supérieur des débris erratiques, et l'on ne doit pas s'attendre à trouver des blocs étrangers au sol au delà de cette limite[2]. Cependant nous ne possédons pas encore des observations précises sur ce point important. Ce qui paraît hors de doute, c'est que l'agent qui a arrondi le flanc des montagnes est le même qui a tracé les sillons. De même qu'en Suisse, *ces formes ballonnées* ne sont donc pas l'effet pur et simple de la structure des granits, car autrement on ne concevrait pas pourquoi les sommets seraient dentelés passé une certaine limite de hauteur, qui est évidemment une limite climatologique[3].

La faible inclinaison du sol présentée comme une grave objection à la théorie glaciaire.

E. D. 14. La faible inclinaison du sol, dans une grande partie de la Suède et de la Finlande, comparée à la pente des glaciers actuels, a été présentée comme une grave objection à la théorie glaciaire[4],

[1] E. D. Il paraît qu'à mesure qu'on s'avance vers le nord cette ligne descend à un niveau toujours plus bas. D'après les renseignements et les croquis que m'a fournis **M. de Welk**, les formes arrondies et ballonnées, qui sont le trait dominant des montagnes dans la partie méridionale de la Norwége, sont bien moins fréquentes dans les latitudes plus septentrionales. On cite des montagnes qui n'ont guère plus de 400 à 500 mètres, et dont les sommets sont aussi dentelés que ceux des Alpes; telles sont, par exemple, les Sept-Sœurs au delà du 66e degré de latitude. L'*Atlas pittoresque de la Norwége*, par **Ankarværd**, renferme plusieurs vues de pics dentelés, entre autres celle de Romsdalen et celle du fiord de Veblangsnæs. On voit des montagnes arrondies sur le devant, tandis que les montagnes du fond sont profondément déchirées, comme les aiguilles de la Dent-du-Midi, en Suisse.

[2] D. A. *Pourquoi* au-dessus de 3000 mètres d'altitude ne trouve-t-on plus de roches en place moutonnées ni polies? (Voy. dans nos *Matériaux pour l'étude des glaciers*, chap. *Glaciers en activité.*)

[3] E. D. Je ne prétends pas nier par là la forme cylindroïde des collines granitiques en dehors du phénomène erratique; j'en ai cité moi-même des exemples dans les Alpes et j'en ai vu de fort beaux en Scandinavie. Il est probable qu'en une foule d'endroits les glaciers n'ont fait que polir des surfaces déjà ballonnées; mais ce n'est pas une raison pour contester les polis et les cannelures, qui sont l'effet d'une action subséquente.

[4] D. A. Depuis 1846 à 1862 tous les glaciers, les grands comme les petits, nous disent que leur marche, leur mouvement, leur progression se fait dans tous les sens, en longueur, largeur et hauteur, et ils insistent et déclarent positivement que pour pro-

par **M. Bœthlingk**[1] d'abord, et plus tard par **MM. Bronn**[2], **Durocher**[3] et **Murchison**[4]. Bien que la pente que l'on revendique pour la progression des glaciers soit, en général, exagérée (puisque le glacier de l'Aar se meut sur un sol dont l'inclinaison moyenne excède à peine 1 degré), l'objection n'en serait pas moins d'un très-grand poids s'il s'agissait d'un continent parfaitement stable; mais dans le cas particulier je ne saurais lui accorder une importance réelle, surtout après avoir montré par les stries, qui, sur le pourtour de la Suède et de la Norwége, plongent sous la mer, qu'à l'époque du burinage le sol de la Scandinavie était plus exhaussé que maintenant.

E. D. 15. On a aussi beaucoup insisté sur cet autre fait, qu'en nombre de points de la Scandinavie les stries ne suivent pas exactement la pente du terrain, mais forment avec elle des angles plus ou moins considérables. **M. Bœthlingk** cite spécialement le revers de la montagne de Krogleben, dans le Ringe-Rige, près Christiania, où les rochers de Kongs-Outsigt sont usés de bas en haut, et il se demande comment il est possible qu'un glacier ait pu remonter ces rochers qui ont 1200 pieds de hauteur. J'ai visité cette localité et j'ai reconnu qu'en effet les sulcatures, au lieu de se fléchir à l'ouest dans la direction du fiord, remontent contre l'escarpement. J'ai observé des stries très-distinctes à la sortie de la gorge très-étroite, semblable à un ruz jurassique, par laquelle on descend de la station de Krogleben à celle de Sundewall. Ce sont probablement les mêmes qu'a signalées **M. Bœthlingk**. Mais ce contraste entre la direction des sulcatures et les reliefs du sol, qui, au premier abord, semble si accablant pour la théorie (pour celle des courants encore plus que pour celle des glaciers), n'est pas un phénomène propre à la Scandinavie; on le retrouve tout aussi frappant dans les Alpes, où **M. Agassiz**[5] en a cité un exemple, entre autres au col du Grimsel, entre le glacier du Rhône et la vallée de Hasle.

Les stries ne suivant pas exactement la pente du terrain, présentent une grave objection à la théorie glaciaire.

grésser, ils n'ont pas besoin d'un sol en pente, ils progressent sur un sol horizontal et remontent des plans inclinés.

[1] *Bullet. de l'Acad. de Saint-Pétersbourg*, t. VIII, p. 162.

[2] **Leonhard** et **Bronn**, *Jahrbuch*, 1842, t. X, p. 56.

[3] *Bullet. de la Société géolog. de France*, 1846, 2e série, t. IV, p. 28 et suiv.

[4] *Quarterly Journal*, 1846, t. II, p. 349.

[5] *Études sur les glaciers*, p. 264.

Ce col, quoique situé à 500 mètres au-dessus du glacier actuel du Rhône, est poli et strié jusqu'à son sommet, mais dans une direction oblique à la vallée actuelle de l'Aar et à celle du Rhône. Cette direction ne s'explique que d'une seule manière, en supposant qu'à l'époque des plus grandes glaces un bras du glacier de l'Aar passait par-dessus le col du Grimsel et se déversait dans la vallée du Rhône. Or, pour peu que les glaces du nord fussent en rapport avec celles des Alpes, on conçoit que les glaciers qui descendaient de l'intérieur de la Norwége devaient être assez puissants pour maintenir leur direction malgré une barrière de quelques cents mètres.

Moraines, blocs erratiques, diluvium proprement dit, œsars.

E. D. 16. **Ch. Martins** a insisté récemment, avec beaucoup de raison selon nous, sur la nécessité de distinguer entre ces différentes formes du terrain erratique du nord, comme les géologues suisses l'ont fait depuis longtemps pour les terrains de transport de ce pays [1]. Il est permis de croire, en effet, que si le terrain erratique du nord a présenté jusqu'ici de si grandes difficultés, c'est parce que l'on a voulu rapporter à une cause unique un phénomène très-complexe en lui-même. Rien, en effet, n'est plus différent que la forme et la disposition du terrain diluvien dans les diverses parties de la Scandinavie. Il s'y présente sous les trois formes principales qu'on a reconnues en Suisse:

1° Les *moraines;*

2° Les *blocs erratiques;*

3° Le *diluvium proprement dit*, auquel il faut en ajouter une quatrième qui est propre à ce pays, les *œsars*.

Moraines.

E. D. 17. Les *moraines* existent dans les vallées intérieures de la Norwége. **M. W. Ph. Schimper** en a observé de très-caractéristiques dans la vallée de Guldbrandsdalen [2], où elles se présentent sous la forme de remparts composés de débris amassés, sans aucun triage, comme en Suisse. Mais il ne faut pas les chercher dans la plaine ni au-dessous d'un certain niveau, qui est indiqué par les points les plus élevés où l'on trouve des coquilles diluviennes.

[1] E. D. **Necker, de Saussure, Agassiz, Escher von der Linth, Blanchet** et surtout **Guyot**

[2] *Comptes rendus de l'Académie*, 1846, t. XXII, p. 43 (voy. aussi **Durocher**, *Bullet. de la Société géolog.*, 2e série, t. IV, p. 85).

E. D. 18. Les *blocs erratiques* embrassent un champ bien plus vaste que les moraines; ils ne sont pas limités à la Scandinavie, mais on sait qu'ils sont répandus sur une très-grande partie du nord de l'Europe. Tantôt on les trouve associés au diluvium, tantôt ils sont épars à la surface du sol. Les uns sont arrondis et les autres plus ou moins anguleux. Il y en a qui ont leurs angles aussi intacts que les blocs de protogine sur les flancs du Jura. Ceux qui sont mêlés au diluvium sont ordinairement arrondis; un petit nombre seulement est anguleux. Lorsque les blocs sont très-abondants sur un point, ils appartiennent ordinairement à une seule espèce minéralogique. J'ai vu des localités où les *blocs de syénite* sont tellement nombreux qu'ils empêchent la culture de la terre, par exemple sur les bords du lac Roxen, dans l'Ostgothie. Blocs erratiques.

E. D. 19. Le dépôt qu'on désigne sous le nom de *diluvium* se présente avec des caractères divers, suivant les localités. En Suède et dans une grande partie de la Norwége, il est le plus souvent composé d'un gravier mélangé da galets et de gros blocs. Souvent aussi c'est du limon qui passe même quelquefois à une argile très-fine, par exemple sur les bords du fiord de Tyrie. Dans d'autres contrées cette argile fait place à un sable très-fin, recouvrant de vastes étendues. La fertilité des pays du nord dépend, en général, de la nature du diluvium. Les plaines si fertiles de la Scanie et du Seeland sont composées d'un diluvium limoneux mêlé de calcaire. Les plaines du Hanovre et spécialement la *Lüneburger Haide* ne sont si stériles que parce qu'elles sont composées de sables siliceux. Diluvium. Galets et gros blocs. Limon ou argile très-fin. Sable très-fin.

Ces dépôts divers renferment tous des *cailloux roulés* et même des *blocs* d'un volume considérable. Les blocs qu'on en retire sont en général arrondis, ou du moins émoussés. Tous ne sont pas étrangers au sol; il est des contrées où la majeure partie proviennent de la roche en place ou de gîtes peu éloignés. Ainsi le diluvium de Scanie contient beaucoup de silex pyromaques aux environs de Malmö, et de nombreux fragments d'arkose aux environs de Lund. Le diluvium des environs de Copenhagen renferme en quantité des galets de calcaire danien (calcaire de Faxoë), et même des morceaux de grès vert. **M. Forchhammer**[1] a montré que le diluvium de l'île de

[1] *Poggendorffs Annalen*, vol. LVIII, p. 609.

Langeland contient de 35 à 40 p. 100 de roches de transition. Sur la rive occidentale du Limfjord, les porphyres, les syénites et les grès de transition vont jusqu'à 40 p. 100, et dans la partie occidentale du Jutland les roches de transition forment les deux tiers de la masse. Mais ceux-là ne sont pas susceptibles d'être transportés aussi loin que ceux de la surface, car, comme ils sont assujettis à des frottements continuels, ils finissent par être complétement usés et réduits en poudre, à moins qu'ils ne soient excessivement durs. Suivant l'opinion de plusieurs géologues, cette distribution des débris erratiques serait une difficulté insurmontable pour la théorie glaciaire. On objecte que si le terrain erratique avait réellement été transporté par des glaciers se rattachant à la chaîne des Alpes scandinaves, on ne devrait rencontrer que des galets de ces montagnes dans le diluvium de la plaine.

Les glaciers ne transportent pas seulement les matériaux qui tombent sur leur surface; ils en arrachent aussi au sol sur lequel ils se meuvent.

E. D. 20. Les glaciers ne transportent pas seulement les matériaux qui tombent sur leur surface; ils en arrachent aussi au sol sur lequel ils se meuvent, et il est probable que ceux-ci seraient entraînés aussi loin que ceux de la surface s'ils ne subissaient un frottement considérable qui les use et les réduit en poudre. Il s'ensuit que ces pierres arrachées au fond, à moins d'être d'une très-grande dureté, ne peuvent pas faire un long trajet. C'est ce dont le glacier de l'Aar nous offre un exemple frappant. Quoique encaissé en majeure partie par des montagnes gneissiques, il ne rejette cependant qu'une quantité proportionnellement très-faible de cailloux de gneiss. Les pierres empâtées dans la glace, à l'extrémité du glacier, sont en général des galets granitiques provenant des massifs les plus voisins. Il n'y a dès lors rien d'extraordinaire à ce que les galets schisteux dominent en Suède, là où la roche en place est du schiste, tandis qu'en Scanie on trouve beaucoup de silex mêlés au diluvium.

Au reste, cette même distribution se retrouve aussi dans le diluvium de la Suisse. Il y a sur le revers méridional du Jura, entre Soleure et Bienne, une dépression en forme d'anse, au fond de laquelle sont situés les bains de Granges. Cette dépression est remplie d'une masse énorme de diluvium, dans lequel on remarque à côté des blocs de granit, de poudingue, de chlorite etc., tous originaires des Alpes, une quantité assez considérable de gros blocs

de molasse, provenant évidemment des collines molassiques situées dans le voisinage. J'en ai vu également dans les amas diluviens de la vallée de Gensbrunnen, entre la chaîne du Weissenstein et celle du Passwang. Enfin, tous ceux qui ont étudié le diluvium suisse savent que sur les flans du Jura occidental, dans les cantons de Vaud, de Neufchâtel ainsi que sur plusieurs points du Jura bernois et français, le diluvium alpin est mélangé d'une quantité considérable de galets jurassiques arrachés aux flancs des montagnes sur lesquelles il repose.

Loin donc d'infirmer la théorie des glaciers, ce mode de distribution des galets l'appuie au contraire, puisque nous voyons la même chose se produire sous nos yeux. De toute manière il doit être plus difficile d'expliquer des circonstances pareilles par les autres théories.

Les blocs et cailloux du diluvium sont burinés, comme les roches sur lesquelles ils reposent.

E. D. 21. Une circonstance dont on n'avait pas tenu compte jusqu'ici et qui est d'un grand poids pour la théorie des glaciers, c'est qu'une *grande partie des blocs et des cailloux du diluvium sont burinés, comme les roches sur lesquelles ils reposent*, avec cette différence cependant que les stries ne suivent aucune direction prépondérante. J'ai vu plusieurs localités, dans la coupe du chemin de fer, près de Copenhagen, où la majorité de galets et des blocs sont rayés absolument comme ceux qu'on trouve dans le diluvium de la plaine suisse et dans les Vosges. J'en ai recueilli de fort beaux échantillons à Faxoë et à Lellingen dans le Seeland. J'en ai aussi remarqué parmi les blocs de granit et de diorite accumulés devant le port de Kiel. Je les ai retrouvés dans le diluvium de Berg, près du lac Roxen dans l'Ostgothie, et j'ai fait la remarque que les blocs, dont on a construit les portes cyclopéennes des ailes du palais royal de Stockholm, sont en grande partie rayés, surtout les blocs de diorite. Le diluvium de Norwége n'en est pas non plus dépourvu; j'en ai trouvé dans les talus limoneux des bords de la Drammen, à l'entrée du fiord de ce nom, ainsi que près de Krogleben et dans les environs mêmes de Christiania. La seule différence qui existe sous le rapport des galets striés entre la Scandinavie et la Suisse, c'est que dans ce dernier pays ce sont surtout les galets et les petits blocs qui sont burinés, tandis qu'en Scandinavie ce sont de préférence les gros blocs. Il paraîtrait que, sous ce rapport, le diluvium

du Nord a plus de rapport avec celui d'Écosse qu'avec celui de la Suisse et des Vosges.

Les stries des galets, comme celles des roches polies en place, sont tout à fait indépendantes de la nature minéralogique des roches. On trouve en Scandinavie des galets striés de granit, de syénite, de calcaire, de diorite et même de grès ; mais les mieux conservés sont ordinairement ceux de diorite [1].

Les dépôts diluviens de la Scandinavie sont fréquemment stratifiés, mais d'une manière irrégulière. On n'y trouve que rarement de ces assises continues, s'étendant sur de grandes surfaces. Ce sont de petits bancs très-limités, d'une inclinaison et d'une épaisseur variables, qui indiquent une action inégale des eaux, comme ceux que l'on a désignés sous le nom de *stratification torrentielle* dans le diluvium suisse.

Coquilles dans le diluvium scandinave.

E. D. 22. Mais il est une particularité qui distingue le *diluvium scandinave* et qui ne se retrouve pas en Suisse, c'est la présence de *coquilles marines*. On en a recueilli au milieu des dépôts les plus variés, dans le sable, le limon et même au milieu des cailloux. Il y a certaines localités en Norwége où ils sont tellement nombreux, que les indigènes ont désigné la couche qui les renferme sous le nom de *couches à coquilles* (skalenskigt).

Ces coquilles appartiennent, sans exception, à des espèces qui existent actuellement; mais toutes n'habitent pas le littoral de la Scandinavie. Parmi celles que **MM. Keilhau** et **Lovén** ont recueillies en Norwége et en Suède, il en est un grand nombre qui vivent exclusivement sur les côtes du Grœnland et de l'Islande, et quand on examine une collection de ces coquilles, on s'aperçoit bientôt qu'ils ont un caractère plus arctique que la faune actuelle des côtes de la Suède.

Ce résultat est important en ce qu'il prouve qu'à l'époque où ces animaux vivaient sur les côtes de Scandinavie, la température y était sensiblement plus basse que de nos jours, ce qui confirme les conclusions que **M. Agassiz** avait tirées de l'étude des fossiles récoltés par **M. Smith**, de Jordan-Hill, dans l'argile des bords de la Clyde, et d'où il avait conclu que pendant l'époque glaciaire

[1] **M. Desor** a fait voir à la Société des échantillons de ces différentes roches rayées.

la température moyenne de l'Europe doit avoir été d'environ 8 degrés plus basse que de nos jours.

Rapport qui entre le phén erratique du no les soulèvement Scandinavie.

E. D. 23. Après avoir fait ressortir dans les pages précédentes les analogies qui existent entre le terrain diluvien du nord et les phénomènes glaciaires des Alpes, il me reste maintenant à traiter des caractères propres du phénomène scandinave dont on ne retrouve pas de trace en Suisse, parce qu'ils se lient de la manière la plus directe aux changements de niveau que le sol de la Scandinavie a éprouvés pendant l'époque diluvienne et qui continuent encore sous nos yeux.

Voici d'abord quelles sont ces particularités :

1° Le fait que les sulcatures plongent *sous* le niveau actuel des eaux.

2° La présence de *coquilles marines* fixées sur les roches polies à une hauteur bien supérieure au niveau actuel de la mer.

3° La présence de coquilles marines dans l'intérieur du diluvium jusqu'à une hauteur de 800 pieds (260 mètres).

4° Enfin les *œsars* ou chaussées de géants qui renferment des coquilles de la Baltique.

Relèvemen et abaissement de la Scandin

Parmi ces phénomènes, qui sont autant de preuves de l'instabilité du sol de la Scandinavie, il en est qui témoignent d'un relèvement du sol, et d'autres qui attestent au contraire un abaissement. Ainsi on ne saurait imaginer une preuve moins équivoque d'un relèvement, que la présence, à de grandes hauteurs et à une distance considérable des côtes, de coquilles appartenant à des espèces vivant aujourd'hui dans les mêmes parages, et dont l'état parfait de conservation ne permet pas de douter qu'elles n'aient vécu en place. Aussi bien, si elles avaient été transportées par un courant ou quelque autre agent violent, elles seraient sinon brisées, du moins roulées en grande partie. Mais à supposer qu'on voulût néanmoins contester leur autochthonéité, on ne pourrait en aucune manière récuser le témoignage des serpules de Christiania et des balanes d'Uddevalla, dont les tests sont encore aujourd'hui adhérents aux rochers.

Des stries et d nelures se plo sous les eaux mer.

En opposition avec ce témoignagne du soulèvement du sol, nous trouvons cet autre fait non moins significatif des *stries et des cannelures se prolongeant sous les eaux de la mer*, non-seulement sur quel-

des agents atmosphériques [1]. Or, comme nous n'avons nulle raison de supposer que l'action des agents atmosphériques ait été autrefois moins énergique qu'elle ne l'est de nos jours, je suis porté à croire que si les surfaces polies sont si bien conservées sous le diluvium, c'est parce qu'elles n'ont pas été exposées longtemps à l'action de l'atmosphère. Il est même probable que l'envahissement de la mer a été l'une des causes qui ont activé, sinon déterminé la destruction des grands glaciers. L'on expliquerait ainsi le caractère plus boréal de la faune du diluvium, attendu qu'une masse de glace aussi considérable n'a pu se fondre sans refroidir considérablement les eaux qui la baignaient. Plus tard, ce foyer de froid ayant disparu, la température s'est réchauffée et la faune des mers a pris peu à peu le caractère plus tempéré qui la distingue aujourd'hui.

Couches irrégulières du limon, du gravier et de tous les matériaux du diluvium.

E. D. 26. C'est à cette époque de l'envahissement de la Scandinavie par les eaux qu'il faut faire remonter la disposition en *couches irrégulières* du limon, du sable, du gravier et de tous ces matériaux du diluvium que le grand glacier avait laissés en place comme autant de témoins de son ancienne extension. L'action de la vague, en venant remanier ce sol meuble, y a entassé et enterré les débris des corps marins morts sur la plage, lesquels se sont ainsi trouvés mêlés aux blocs et aux galets rayés. Si telle est réellement l'origine de ces dépôts, il ne faut pas s'étonner que les galets rayés y soient si peu nombreux. La vague, en les frottant les uns contre les autres, les a plus ou moins usés, et si les blocs d'un certain volume ont généralement mieux conservé leur burinage que les galets, c'est parce qu'étant plus lourds, ils étaient moins exposés à être remués et roulés. Il est tout naturel dès lors qu'en Suisse, où l'action des eaux a été moins sensible et en tous cas moins prolongée, les cailloux striés soient plus nombreux : aussi ne rencontre-t-on qu'accidentellement des couches bien distinctes dans les terrains vraiment

[1] E. D. Il est permis de croire que si, par suite d'un nouveau cataclysme, les surfaces moutonnées qui sont aujourd'hui à nu se trouvaient recouvertes de gravier, les géologues des âges futurs auraient beaucoup plus de peine à déchiffrer les causes qui ont produit ces formes que nous n'en avons aujourd'hui, aidés que nous sommes par l'état de conservation souvent admirable des polis, des cannelures et des stries les plus fines.

glaciaires. Celles qu'on a signalées se trouvent ordinairement dans le voisinage des torrents[1].

Immersion des terres par l'eau.

E. D. 27. Après cette époque d'immersion le sol scandinave a de nouveau été émergé. Les plages voisines du massif central, les plaines de la Suède et celles de la Finlande sont sorties successivement du sein des eaux, ramenant avec elles à la surface ce même limon et ce même gravier diluvien que les glaciers y avaient déposé, et qui n'avait subi d'autre changement dans l'intervalle que de s'être irrégulièrement stratifié et mélangé de coquilles. Les dépressions du sol sont seules restées couvertes d'eau et ont formé les lacs de la Suède et de la Finlande, ainsi que le golfe de Bottnie. Ce dernier, isolé de l'Océan par l'effet de l'exhaussement des terres intermédiaires, a perdu peu à peu de sa salure, ce qui explique le caractère de sa faune qui est plutôt une faune saumâtre qu'une faune marine. Les lacs intérieurs, au contraire, se sont transformés complétement en lacs d'eau douce, ce qui n'empêche pas qu'on ne retrouve çà et là des indices de leur ancienne composition. Il paraîtrait que certains poissons ont résisté à ces changements de l'eau, et, d'après les recherches des zoologistes scandinaves, en particulier de **M. Esmarch**, la truite des lacs suédois (*Salmo trutta*, L.) ne serait point une espèce propre, mais seulement une variété du saumon commun (*Salmo Salar*, L.). Or, comme le saumon des côtes ne remonte pas dans ces lacs, on est tout naturellement conduit à en conclure que ce poisson a résisté aux modifications survenues dans le milieu qu'il habite.

L'émersion des terres n'a pas dû se faire d'un seul coup, et les belles observations de **MM. Keilhau** et **Bravais** sur les anciennes lignes de niveau de la mer scandinave nous apprennent qu'elle n'a pas non plus été uniforme partout. C'est à cette période d'émersion lente, qui constitue la troisième phase du phénomène erratique, qu'il faut faire remonter la formation des œsars.

Œsars.

E. D. 28. Les *œsars* sont des amas de terrain meuble, étrangers au sol, comme les matériaux du diluvium, mais il y a cette différence qu'au lieu d'être répartis sur de grands espaces, ce sont des collines étroites en forme de remparts nivelés à leur sommet, ce qui leur a valu dans le pays le nom de *chaussées des géants*.

[1] **Rod. Blanchet**, *Terrain erratique alluvien du bassin de Léman.*

Tous les œsars qui ont été signalés jusqu'à présent se trouvent dans le pays plat, ordinairement dans le voisinage de côtes[1]. Si tous ne sont pas parallèles entre eux, comme on le croyait autrefois, ils suivent du moins en général la direction du littoral.

Les matériaux dont ils se composent ne sont pas entassés pêle-mêle comme dans le diluvium; on observe au contraire un certain triage suivant leur volume. Sur tel point la plupart des débris ont le volume de la tête; ailleurs ils n'atteignent que la grosseur du poing; ici c'est du gravier, ailleurs encore du sable et jusqu'à du limon. Les cailloux et les galets sont toujours mieux arrondis et plus lisses que ceux du diluvium; en revanche ils ne sont pas striés, ou s'il en existe quelques-uns qui aient conservé des stries, c'est une rare exception.

Les œsars renferment des débris de végétaux interposés et des coquilles.

E. D. 29. Il est rare qu'on n'observe pas une certaine *stratification dans ces œsars*, mais elle est encore plus irrégulière que dans le diluvium. Tantôt ce sont de petits bancs de gravier qui alternent avec des bancs de sable ou de limon, ou bien des galets qui alternent avec du gravier. Les bancs sont souvent très-limités et offrent des variations brusques sous le rapport de l'inclinaison. Ainsi, une couche inclinée de 20 degrés reposera sur une couche de 40 degrés; un peu plus bas, il y aura quelques bancs horizontaux sous-jacents à des lits de 10 degrés etc. J'ai vu en plusieurs endroits des débris de végétaux interposés entre ces différentes couches, mais ils n'avaient guère que quelques millimètres d'épaisseur, ils étaient réduits à l'état de lignite et presque méconnaissables. Je ne doute cependant pas que **M. Steenstrupp** ne parvienne à nous faire connaître leur véritable nature. Il est à présumer que ce sont des débris de plantes marines.

Les œsars renferment aussi des coquilles, mais elles y offrent cette différence avec celles du diluvium, que, comme l'a montré **M. Lyell**, toutes les espèces, sans exception, sont identiques avec celles qui vivent aujourd'hui dans la Baltique, tandis que nous

[1] E. D. Voy. la carte qui accompagne le mémoire de **M. Brongniart**, dans les *Ann. des sciences naturelles*, 1828, t. XIV. **M. Durocher** a montré depuis que la direction des œsars coïncide en général avec celle des sulcatures (voy. *Bullet. de la Société géol.*, 1846, t. IV, p. 56).

enons de voir que les espèces du diluvium ont leurs analogues ans la mer du nord et en partie dans les mers arctiques.

Ces différences sont trop essentielles pour qu'on ne doive pas, à 'avenir, séparer les œsars du diluvium proprement dit. Les maté- iaux dont ils se composent ont sans doute été transportés primiti- ement dans les lieux qu'ils occupent, par le même agent (selon ous, le grand glacier qui recouvrait toute la Scandinavie); mais eur forme et leur structure actuelles sont dues à des influences ubséquentes qui n'ont pas agi de la même manière sur le diluvium le l'intérieur.

E. D. 30. **M. Forchhammer** me semble être de tous les au- eurs celui qui a donné l'explication la plus satisfaisante des œsars, n les rattachant au soulèvement lent de la côte scandinave. Il xiste le long des côtes du Jutland et des îles danoises des bancs de able et de cailloux qu'on désigne sous le nom de *raveler*, et qui se naintiennent à un niveau constant, à peu près à fleur d'eau, de anière à rendre la navigation très-difficile le long des côtes. Ces aveler, qui rappellent à bien des égards les cordons littoraux de **I. Élie de Beaumont**, sont surtout fréquents entre le Maria- erfiord et le Liemfjard, s'accroissent continuellement par l'effet es vagues qui viennent y déposer de nouveaux matériaux amenés e la plage. Suivant la force du vent et la violence des vagues, les natériaux accumulés sont plus ou moins grossiers, et ce sont ces lternances qui déterminent la stratification imparfaite qu'on re- narque dans tous les œsars. Explication des œsars.

E. D. 31. Quelquefois on rencontre aussi *à la surface des œsars* de *ros blocs anguleux*, qui affectent même des positions très-bizarres, comme ceux que **M. Daubrée**[1] a décrits et représentés. Il est robable que ceux-là ont été déposés par des glaces flottantes[2]. Les glaçons qui transportaient de pareils blocs devaient, par cela même que leur poids en était augmenté, s'enfoncer plus profondément, et l'on conçoit qu'ils aient été retenus au sommet de ces digues lors- qu'elles étaient sous-marines. On peut présumer dès lors que, si Blocs anguleux à la surface des œsars.

[1] *Bullet. de la Société géolog.*, t. XIV, p. 573.

[2] E. D. Suivant **MM. Murchison** et **de Verneuil** les blocs anguleux qui entourent le lac Wenjan, en Dalécarlie, auraient aussi été transportés par des glaces échouées.

les côtes des îles danoises s'élevaient tout d'un coup d'une dizaine de mètres, on verrait au milieu des surfaces fraîchement exondées, de nouveaux œsars ou chaussées de géants couronnés çà et là de blocs erratiques.

La ville de Tornéo, autrefois un port de mer, est aujourd'hui à plus d'une lieue dans l'intérieur des terres.

E. D. 32. Il est probable que les œsars de la côte orientale de la Suède n'ont pas été exondés tous à la fois, mais successivement, et nous avons des preuves certaines que l'émersion d'une partie d'entre elles s'est effectuée pendant l'époque historique. Il suffit de rappeler les débris de la cabane qu'on a trouvés dans l'intérieur de l'œsar de Sœdertelge[1], en creusant le canal qui unit le lac Mælar avec la Baltique. A cette époque, le golfe de Bottnie était beaucoup plus large que maintenant, ainsi que l'attestent une foule de monuments historiques. Il suffit de rappeler la ville de *Tornéo, autrefois un port de mer, et qui maintenant est à plus d'une lieue dans l'intérieur des terres.* Les rives, graduellement mises à sec, se sont couvertes sur beaucoup de points d'une abondante végétation de tourbe, qui est devenue le tombeau d'un peuple aborigène fort différent des Scandinaves actuels par ses caractères ostéologiques, et dont les armes et les ustensiles qu'on trouve associés aux squelettes indiquent un peuple chasseur et pêcheur très-peu avancé dans la civilisation[2]. Ces tourbières recèlent en outre les restes d'animaux dont les uns ne vivent plus dans ces contrées, tel que le renne, et dont les autres ont complétement disparu, comme le *Bos urus*, que **M. Nilson** envisage comme la souche de nos bœufs domestiques, et dont il existe un fort bel exemplaire au muséum de Lund[3],

[1] **Lyell**, *Philosophical Transact.*, 1835, trad. franç., par **M. Coulon**, dans les *Mém. de la Société des sciences natur. de Neuchâtel*, vol. I^er^. — L'usage a consacré le nom d'*œsar*, au singulier comme au pluriel, quoiqu'il soit le pluriel du mot *ās*.

[2] E. D. Les armes et les ustensiles qui accompagnent ces squelettes au milieu des tourbes sont tous, sans exception, taillés en pierre à feu, tandis que les armes qui accompagnent les crânes de race celtique sont en bronze (voy. sur ce sujet l'ouvrage remarquable de **M. Nilson**).

[3] E. D. Le fait suivant nous fournit la preuve évidente que ce bœuf était contemporain du peuple chasseur mentionné ci-dessus. L'une des apophyses dorsales du squelette du Muséum de Lund est percée d'un trou qui se continue dans l'apophyse de la vertèbre suivante. Ce trou est entouré d'une callosité qui indique que la blessure s'est cicatrisée pendant la vie de l'animal. En examinant attentivement ce trou, **M. Nilson** s'est assuré que sa forme correspond exactement à celle des lances en pierre à feu, qui étaient l'arme principale de ce peuple.

provenant des tourbières de Scanie. Or, comme ces tourbes se rencontrent en plusieurs endroits *sous les œsars*, c'est une preuve que ces œsars sont de notre époque.

Résumé.

E. D. 33. Je crois avoir prouvé dans ce mémoire :

1° Qu'il existe la plus grande analogie entre le phénomène erratique du nord et celui des Alpes, malgré les objections que l'on a élevées contre l'application de la théorie glaciaire aux régions scandinaves ;

2° Que les traits propres du phénomène du nord sont une conséquence des changements de niveau auxquels le sol de la presqu'île est assujetti ;

3° Que ces changements de niveau ne sont pas limités à l'époque historique, mais qu'ils remontent au delà du diluvium ;

4° Que depuis lors le sol de la Scandinavie a éprouvé des soulèvements et des abaissements successifs.

J'ai distingué trois mouvements principaux qui correspondent aux principales phases de l'époque diluvienne, savoir :

1° Un premier soulèvement pendant lequel le sol était plus exhaussé que maintenant, c'est la période des glaces ;

2° Un affaissement général entraînant à sa suite l'*envahissement* des plaines de la Scandinavie par la mer ;

3° L'émersion de ces mêmes plaines, qui se continue encore sous nos yeux, l'époque des œsars.

J'ai représenté ces trois périodes d'une manière graphique dans la fig. 1re de la pl. II, qui offre une coupe idéale de la Scandinavie de l'ouest à l'est [1].

[1] E. D. Il est une troisième théorie, une sorte de terme moyen entre la théorie glaciaire et celle des courants, qui consiste à attribuer le poli et le striage des rochers à des glaces flottantes qui auraient façonné les récifs et les bas fonds par leur base, en même temps qu'ils auraient déposé les blocs dont ils étaient chargés. Cette théorie, proposée en premier lieu par **M. Bronn** *, et développée plus tard par **MM. Murchison** ** et **de Verneuil**, admet, comme la théorie glaciaire de **M. Agassiz**, un climat plus froid que celui de l'époque actuelle, qui aurait permis aux glaciers de la Scandinavie de s'avancer jusqu'au débouché des vallées. La Scandinavie, selon **M. Murchison**, en se soulevant du sein de l'océan Glacial qui recouvrait tout le nord de notre hémisphère,

* *Leonhard et Bronn, Jahrbuch*, 1842, t. X, p. 70. *Annales de géologie*, t. Ier
** *Quarterly Journal of the geological Society of London*, 1846, t. II, p. 349.

Chacune de ces périodes a dû être d'une certaine durée. L'on conçoit, en effet, que pour qu'un agent se mouvant aussi lentement qu'un glacier ait pu transporter à la distance de plusieurs centaines de lieues des blocs et tout un terrain arraché aux montagnes de la Norwége, il ait fallu un temps fort long, dont le minimum serait de plusieurs milliers d'années, si l'on prenait pour base le mouvement des glaciers les plus accélérés de notre époque.

La seconde période a dû être au moins aussi longue si l'on considère le temps qu'il faut pour qu'une faune tout entière puisse vivre, se propager et laisser des dépouilles nombreuses sur un sol autrefois exondé.

Enfin, la troisième période comprend l'époque historique depuis la prise en possession de ce sol par les populations de race étrangère dont nous trouvons les débris au fond des tourbières du nord.

aurait occasionné des courants violents capables de façonner le sol des plaines du nord, et poussé vers le sud une quantité considérable de glaces flottantes chargée de détritus des monts scandinaves. Cette migration des glaces aurait été entretenue plus tard par les éboulements des glaciers septentrionaux. Partant de cette hypothèse, l'auteur anglais rapporte à une même époque le burinage des rochers et la disposition des coquilles boréales dans le diluvium.

Si les choses s'étaient réellement passées de la sorte, il faudrait qu'on trouvât de ces coquilles aussi loin que des blocs erratiques ont été signalés; or on n'a jusqu'ici constaté leur présence que dans le diluvium de Scandinavie et de Finlande. D'un autre côté, en faisant intervenir des courants marins comme cause des sulcatures, la théorie de **M. Murchison** encourt le même reproche qu'on a si justement fait à la théorie des courants terrestres, c'est d'attribuer à l'eau une faculté tout à fait imaginaire. Quant aux glaces flottantes, je conçois qu'elles puissent, dans certaines circonstances, user et strier les récifs sur lesquels elles passent, mais il m'est impossible d'admettre qu'un système de sulcatures aussi uniforme, aussi continu et aussi régulier que celui des plaines de la Suède, ait pu être gravé à la surface de tout un pays par des agents aussi mobiles que des radeaux de glace.

Enfin, la théorie de **M. Murchison** a le désavantage de faire intervenir deux agents sulcateurs, les glaciers pour les pays de montagnes et les glaces flottantes pour les plaines et les plateaux. Or pour quiconque a observé les stries dans les différentes parties de la Scandinavie il est de toute évidence qu'elles ont partout le même cachet. Celles des plaines de la Suède ne diffèrent pas plus de celles des vallées de la Norwége, que celles de la plaine suisse et des flancs du Jura ne diffèrent de celles des vallées alpines.

Ainsi donc l'époque glaciaire n'est pas un simple accident dans l'histoire de notre globe : c'est une longue période dont l'histoire est d'autant plus importante pour la géologie qu'elle fait le passage les *époques antédiluviennes* aux *temps historiques*.

E. DESOR.

PHÉNOMÈNES ERRATIQUES

DE LA SCANDINAVIE[1].

1. D. 1. *Observations successives qui ont pour objet les phénomènes erratiques du nord de l'Europe.* — ...**M. de Lasteyrie** et **M. Alex. Brongniart** ont décrit, il y a déjà longtemps, les caractères généraux des érosions et des dépôts erratiques de la Suède ; plus tard, **M. Seftstrœm** a déterminé les directions des stries dans le midi de cette contrée. Lors de son voyage dans le nord, **M. E. Robert** a aussi observé ce phénomène ; la même année, en 1839, **M. Bœthlingk** et moi avons déterminé les directions des *sulcatures* dans des pays encore inexplorés, en Finlande et dans quelques parties de la Laponie.

Les principaux faits du mémoire que j'ai rédigé sur ces questions et qui se trouve dans la publication des Voyages en Scandinavie[2], ont été mentionnés dans le rapport de **M. Élie de Beaumont**[3]; j'y ai fait connaître les caractères des *stries* et du *dépôt de transport*, le gisement, la disposition des *blocs erratiques* et leur dispersion en Russie, en Pologne, jusqu'au pied des montagnes de la Silésie, de la Saxe et du Hanovre, et dans les plaines des Pays-Bas. J'ai signalé la forme presque circulaire de leur limite extérieure et leur distribution rayonnante à l'intérieur d'un vaste cercle dont Stockholm est le point central, et dont la circonférence passe

[1] D. A. Extrait du *Bulletin de la Société géologique de France* (séance du 2 novembre 1846, p. 26 et suiv.). *Phénomènes erratiques de la Scandinavie*, par **J. Durocher**, ingénieur en chef des mines.

[2] *Voyages en Scandinavie, en Laponie etc. Géologie*, par **J. Durocher.**

[3] *Comptes rendus de l'Académie des sciences* (séance du 17 janvier 1842).

aux environs de Kostroma, de Moscou, de Cracovie, de Leipzig, de Bréda et dans le comté de Cambridge, en Angleterre. — Depuis cette époque, **MM. Murchison** et **de Verneuil** ont étudié ces phénomènes pendant leurs voyages en Russie et dans le midi de la Scandinavie. — Je suis heureux de reconnaître que les observations relatées dans le bel ouvrage qu'ils viennent de publier sur la géologie de la Russie, s'accordent, pour la généralité des faits, avec celles que j'avais publiées depuis plusieurs années, et la limite méridionale du terrain erratique qu'ils ont tracée sur la carte géologique coïncide presque exactement avec celle que je lui avais déjà assignée, mais ils ont déterminé son extension jusqu'alors inconnue à l'est du lac Onega et de la mer Blanche.

J. D. 2. *Observations faites en Norwége.* — .... **MM. Keilhau — Siljestrœm** et **Daubrée** ont reconnu que les directions des *stries* en Norwége ne sont pas constantes.... J'ai reconnu que la surface de la Suède et de la Norwége a été érodée par plusieurs systèmes d'*agents sulcateurs* qui ont suivi des marches différentes et qui, dans certaines régions, se sont croisées sous des angles plus ou moins grands, se rapprochant parfois de 90 degrés.

J. D. 3. *Caractères généraux des érosions de la Scandinavie.* — ... Contrée de Röraas. — Vallée de la Driva entre Kongsvold et Drivstuen. — Vallée du Nid-Elv. — Vallée de Guldbrandsdal. — Lac Miösen et Christiania.

J. D. 4. *Classement des directions de stries.*

J. D. 5. *Système d'érosion s'étendant des environs de Calmar au lac d'Œstersund.*

J. D. 6. *Disposition des stries dans l'Uppland.*

J. D. 7. *Deux systèmes d'érosions dans la contrée d'Areskuttan.*

J. D. 8. *Directions observées entre le lac Miösen et Christiania.*

J. D. 9. *Deux systèmes d'érosion sur le côté oriental du Kager-rack et du Cattegat.*

J. D. 10. *Intersection des deux systèmes.* — Entre Christiania et Varberg. — ... Carte des stries observées en Suède, en Norwége et en Finlande.

J. D. 11. Il y a dans le midi de la Suède plusieurs directions normales ou plusieurs systèmes de stries.

J. D. 12. Systèmes d'érosions partis du Jemtland.

J. D. 13. Un système sulcateur s'est avancé de Gefle vers Göteborg, ou du golfe de Bottnie vers le Cattegat.

J. D. 14. En s'avançant de Gefle vers Göteborg, les agents érosifs ont obliqué vers l'ouest-sud-ouest.

J. D. 15. *Forces érosives dans un sens parallèle à la côte et en s'avançant de la mer vers la terre ferme.* — ... Sur la côte de Cimbrishamm, dans la Scanie, il y a des stries montant de la mer vers la terre de l'est-nord-est vers l'ouest-sud-ouest, et **MM. Murchison** et **de Verneuil** ont remarqué des stries dirigées de la même manière à l'île Gotland.... Il y a aussi des forces érosives qui ont agi, les unes dans un sens à la côte, les autres en s'avançant de la mer vers la terre ferme.

J. D. 16. *Remarques sur le système d'érosion le plus développé dans la contrée d'Åreskuttan.* — ...Jusque sur la cime la plus haute d'Åreskuttan, à une élévation de 1045 mètres au-dessus du lac Kalln, qui en baigne le pied, et de 1484 mètres au dessus de la mer, on voit des stries dirigées de l'O. 20° N. à l'E. 20° S., et j'ai remarqué aussi des blocs de granit à gros grains, dont l'un est un peu anguleux et a environ 2 mètres cubes de volume ; *ces blocs sont évidemment erratiques*, car Åreskuttan est formé de micaschiste passant au gneiss ; il y en a d'autres sur les flancs et la crête accompagnés de cailloux granitiques. — On voit le même système d'érosion se prolonger jusqu'à la frontière de Norwége en suivant la même direction et venant toujours de l'ouest ; même sur la bande de plates-formes mamelonnées, tuberculeuses qui sépare la Suède de la Norwége, on voit de très-belles *surfaces polies*, des *stries* et des *sillons* dirigées à peu près de la même manière qu'à Åreskuttan, entre l'E. 25° et l'O. 40° N., sur la portion de cette zone montagneuse (d'où sont parties les actions érosives qui ont *strié* Åreskuttan), toutes les cimes sont beaucoup moins élevées que le sommet de cette montagne sur lequel nous avons vu qu'il y a des *stries* bien marquées. La plus haute cime indiquée sur la carte de **Forsell** (la meilleure carte de Suède et de Norwége) est celle de Kelahögen, à laquelle on assigne seulement 4300 pieds suédois[1] (1271 mètres), tandis

[1] D. A. Un pied suédois = 0m,2958. — **Hisinger** assigne à Kelahögen une hauteur de 3932 pieds français = 1277 mètres.

qu'on attribue 4844 pieds à Åreskuttan : mes observations barométriques donnent 1484 mètres pour l'élévation d'Åreskuttan.

J. D. 17. *Les agents érosifs qui ont strié Åreskuttan sont partis de points notablement moins élevés.* — .... Les agents sulcateurs qui sont venus de l'ouest éroder la crête et la cime principale d'Åreskuttan sont donc partis de points beaucoup plus élevés, et ils ont d'abord traversé des plateaux dont le niveau moyen est seulement de 500 à 600 mètres pour s'élever ensuite jusqu'à 1484 mètres.

Ces faits nous montrent combien on aurait tort de vouloir établir une assimilation complète entre les phénomènes erratiques de la Scandinavie et ceux des Alpes et des Pyrénées ; les agents érosifs ont eu ici un mouvement ascensionnel au lieu de descendre, suivant l'inclinaison du terrain. L'hypothèse d'une fusion de neige ou de glace ne peut donc rendre raison du phénomène scandinave, et quant à la théorie des glaciaristes, je ne vois pas comment des glaciers auraient pu se mouvoir en sens contraire de la pesanteur, et remonter en des points beaucoup plus élevés que ceux dont ils seraient partis [1].

J. D. 18. *Caractère des érosions en Norwége.* — Dans le massif occidental des montagnes de la Norwége, situé à l'ouest du méridien de Tronthjem, dans lequel se trouvent les sommités les plus élevées du nord de notre continent, les sulcatures présentent une disposition divergente analogue à celle qui a eu lieu dans les Alpes, mais malgré son étendue et sa grande élévation, elle n'a pas été le point de départ des actions érosives qui se sont étendues sur la Suède, car dans la partie sud-ouest de cette contrée toutes les stries courent du nord-nord-est au sud-sud-ouest ou du nord-est au sud-ouest.

J. D. 19. *Le phénomène erratique est beaucoup moins développé dans la région des hautes montagnes que dans la partie basse de la Scandinavie.* — J'ai exploré dans plusieurs sens les zones montagneuses les plus élevées : le Dovre, le Langfjeld, l'Iotungfjeld et le Pillefjeld ; j'ai été étonné de voir que le phénomène erratique y est beaucoup moins développé que dans la partie basse de la Scandinavie, située plus à l'est ; cependant les caractères d'accidentation sont beaucoup plus tranchés ; l'on y voit d'immenses déchirures, et quelques sommités culminantes s'élèvent du niveau de la mer jusqu'à une altitude de près de 2500 mètres. On y trouve des vallées

[1] D. A. Voy. nos *Matériaux pour l'étude des glaciers*, chap. *Glaciers en activité*. — Des observations nombreuses, très-nombreuses et d'une rigoureuse exactitude mathématique, autorisent à imprimer en petits caractères ces conclusions en 1862.

rofondes de 30 à 40 lieues de longueur, encaissées entre des pa-ois abruptes qui s'élèvent souvent à un millier de mètres. — Je n'attendais à voir dans ces vallées le magnifique spectacle de sulca-ures que j'avais admiré en 1840 dans plusieurs vallées des Alpes ainsi que dans celles de la Reuss, de l'Aar etc., mais presque par-out les flancs de ces vallées sont décharnés et raboteux, et l'on n'y voit pas de surfaces polies ni striées ; c'est seulement dans le fond des vallées ou vers le pied de leurs flancs que l'on voit en di-vers endroits des rochers arrondis et présentant des stries. Néan-moins dans les parties de la Norwége formées de collines arrondies et mamelonnées qui vont en s'abaissant vers la mer, ainsi entre Tronthjem et Levanger, aux environs de Christiania, entre cette ville et Christiansand, ce phénomène des érosions se montre aussi développé qu'en Suède; c'est seulement dans les vallées profondes formant des déchirures entre les hauts plateaux et à la surface de ces plateaux qu'elles sont peu développées. Ce fait incontestable peut être attribué à différentes causes, d'abord à ce que les flancs de ces montagnes étant fortement inclinés, ont plus de tendance à s'ébranler, et les roches étant habituellement schisteuses sont plus sujettes à se désagréger que le granit sous les influences atmosphé-riques. Il est possible aussi que le phénomène des érosions ait été moins prononcé dès l'origine, soit parce que la disposition abrupte des flancs des rochers était moins favorable au développement des actions érosives, soit parce que le transport des matériaux meubles qui ont servi de burin s'est fait sur une échelle moindre, et que la vitesse des masses en mouvement était moins considérable.

Les détritus déposés au fond des profondes déchirures et à la surface des plateaux très-élevés, ne forment pas en général des amas aussi considérables que sur les régions à collines de la Suède et de la Norwége, et les blocs y sont aussi moins abondants. Néan-moins lorsque les vallées situées dans cette région montagneuse ont une grande longueur, lorsque leurs flancs sont moins élevés et moins inclinés, lorsque, en un mot, elles se rapprochent des dé-pressions ou des vallées plates qui séparent les collines ou les pe-tites montagnes de la Suède, alors les dépôts de transport forment des entassements plus considérables et prennent les caractères des *œsars suédois;* c'est ce que montre la comparaison des vallées larges

et à flancs moyennement inclinés de Lessoë, du Guldbrandsdal, du Beina-Elf, de la Glommen etc., avec les vallées profondes du Justedal, du Lerdal, de la Driva etc.

J. D. 20. *Érosions sur les hauts plateaux.* — Sur les plateaux dont le niveau moyen dépasse 1400 mètres, il est rare de voir des stries [1], mais on en trouve fréquemment à une altitude intermédiaire entre la limite des bouleaux et celle des neiges perpétuelles, c'est-à-dire entre 1000 et 1500 mètres. Elles sont ordinairement un peu irrégulières et ne paraissent pas toujours dériver des plus hautes sommités; ainsi, sur le Dovre, à la montée qui est entre Jerkind et le point le plus élevé de la route de Tronthjem, au sud-est du Snöhättan, à une altitude d'environ 1200 mètres, j'ai remarqué deux systèmes d'érosions qui se coupent, dirigés l'un du S. 12° O. au N. 12° E., l'autre S. 45° à 50° O. au N. 45° à 50° O. au N. 45° à 50° E.; ces deux systèmes ont rasé le côté oriental du massif du Snöhättan, et au lieu de descendre, ils montent du sud et du sud-ouest vers le nord et le nord-est.

Comme l'a déjà fait remarquer **M. Siljestrœm**, c'est seulement dans la vallée de Grundbrandsdal que les sulcatures s'abaissent vers le midi pour descendre le long de cette vallée. J'ai encore observé des stries sur le côté opposé du Snöhättan, à l'ouest de Skeahög, à une altitude de 1279 mètres; c'est ici sur des roches polies de serpentine; elles courent au N. 35° E. et ne dérivent pas non plus du Snöhättan. J'en ai vu aussi sur le plateau du Langfjeld, qui s'étend entre la vallée du Romsdalen et celle de l'Otte-Elv, dans une partie basse de ce plateau, à une altitude de 1340 mètres sur la rive orientale du lac Bredals; elles sont dirigées du N. 21° O. au S. 21° E., à peu près dans le sens de la dépression où se trouve le lac. J'ai encore observé des érosions à des hauteurs comprises entre 1000 et 1400 mètres sur les plates-formes environ-

[1] D. A. Au-dessus des neiges temporairement plus ou moins persistantes (que l'on désignait autrefois par limite de neiges éternelles ou perpétuelles, ou champs de neige ou névé), dont la limite d'altitude varie suivant la latitude et le climat, les glaciers sont adhérents au sol, fixé, gelé, dans toutes les saisons; par cette raison ils ne peuvent point raboter, polir, ni buriner les roches qui les encaissent. En Scandinavie, cette limite où le glacier est adhérent est à une altitude de 1500 mètres, dans les Alpes, en moyenne, à 2700 mètres approximativement, suivant les localités (voy. nos *Matériaux pour l'étude des glaciers*, chap. *Glaciers en activité*).

nant les Skagstölstind, sur le Sogrefjeld et sur les plateaux dits Högbergstätt, situés à l'est du Gravefjeld ; elles se trouvent en général dans des dépressions que présentent la surface de ces plateaux et sont dirigées dans le sens de leur allongement. Quelquefois ces stries, que l'on voit à une grande élévation, se trouvent dans le voisinage des glaciers, et, dans certains cas, il est impossible qu'elles aient été tracées par des glaciers qui auraient été autrefois plus étendus qu'ils ne le sont maintenant [1].

J. D. 21. *Disposition des stries à l'intérieur des vallées profondes.*

J. D. 22. *Directions observées entre Christiania et Arendal.* — Le tableau des directions observées entre Christiania et Arendal le long du littoral, sur les îles avoisinantes, aux environs de Congsberg et Modum, offre plusieurs groupes de direction...

J. D. 23. *Intersections de stries sous des angles de 72 et de 90 degrés.* — Les érosions dérivant de l'intérieur des terres sont transversales aux stries dirigées de l'est-nord-est à l'ouest-sud-ouest. J'ai observé plusieurs exemples de croisement sous de très-grands angles; j'en citerai deux seulement : là où la route de Holmerstand à Laurveg atteint le plateau, en quittant la gorge qu'elle traverse à la sortie de la ville, on voit des stries venant de l'intérieur, dirigées, en moyenne, au N. 40° O., couper sous un angle de 72 degrés d'autres stries qui courent de l'E. 22° N. à O. 22° S. Le long du canal qui sépare l'île Langoë de Koume, située plus à l'est, on voit en beaucoup d'endroits des sulcatures dirigées à l'E. 30° N.; on en voit d'autres, qui leur sont exactement perpendiculaires, descendre du N. 30° O. au S. 30° E. de dessus les rochers qui bordent le rivage et près desquels on exploite des mines de fer [2].

[1] D. A. L'auteur de toutes les roches moutonnées, ballonnées, polies, rayées, striées, burinées, c'est le glacier.

[2] D. A. Aux glaciers de l'Aar nous avons pris sur le fait l'auteur des stries croisées à angle droit. — Dans le bassin du grand glacier, que nous appelons *affluent du Finster-Aarhorn* (glacier du Finsteraar), nous voyons sur la rive gauche un petit glacier qui descend d'un cirque supérieur, mais qui n'est pas assez puissant pour se joindre au grand glacier; un espace de 100 mètres en sépare sa pente terminale. Des stries dans le sens longitudinal du grand glacier sont burinées très-profondément sur la roche polie. Le petit glacier, lui aussi, frotte, use, polit et strie les roches à cette altitude de 2600 mètres où la partie basse n'est pas adhérente au rocher; en passant sur les anciens stries, il ne les efface pas complétement, et on voit à la fin d'un été chaud, comme en 1861 (ou sa pente terminale a été fondue), des stries fraîches qui croisent les anciennes, même plus

J. D. 24. *Les canaux sinueux et profonds, décrits précédemment, appartiennent à différents systèmes d'érosions.*

J. D. 25. *Stries observées aux environs de Vœrdalsören et Levanger.*

J. D. 26. *Systèmes d'érosion observés entre Levanger et Tronthjem.*

J. D. 27. *Systèmes d'érosion de la contrée de Rœraas.*

J. D. 28. *Les stries observes en Scandinavie tendent généralement à se rapprocher de la direction nord-ouest-sud-est.*

J. D. 29. *Système d'érosion observé en Finlande.*

J. D. 30. *Tableau résumant les directions observées en Suède, Norwége et Finlande.*

J. D. 31. *Caractères du dépôt de transport dans le nord de l'Europe.*

J. D. 31. *Caractères du dépôt de transport dans le nord de l'Europe.* — Le dépôt de transport du nord de l'Europe constitue une formation géologique non moins remarquable par ses caractères que les formations plus anciennes; son épaisseur, qui est très-variable, paraît atteindre une centaine de mètres dans certaines parties du nord de l'Allemagne, de la Russie et du Danemark; mais son développement principal est en surface; il s'étend en rayonnant autour du massif cristallin des contrées scandinaves jusqu'aux îles Britanniques, d'une part; de l'autre, jusque vers le 50e degré de longitude orientale, et du côté du midi jusqu'au pied des Carpathes, du Riesengebirge et de l'Erzgebirge. Un des caractères particuliers à ce terrain consiste en ce qu'il n'a pas été déposé seulement dans des contrées basses, dans des bassins, mais il se montre avec des caractères analogues au niveau même de la mer et à une élévation de plus de 1000 mètres au-dessus, au sein même des régions montagneuses de la Scandinavie, sur les flancs des rochers, de même que dans les plaines. Cette circonstance, jointe à l'*absence d'une stratification régulière*, à la forme accidentée de la surface du dépôt et à la présence habituelle de gros fragments roulés, montre que les conditions générales de calme et de repos dans lesquelles s'est effectuée la sédimentation pendant les époques antérieures,

qu'à angle droit, puisque sa pente terminale se dirige en amont de l'angle droit de l'axe du grand glacier. Ce croisement de stries, je l'ai observé dans les Vosges, dans les Pyrénées, en aval du port de Venasque du côté de l'Espagne, au port d'Oo, et dans un grand nombre de localités en Suisse.

ont été remplacées, pendant la période anté-humaine, par des conditions particulières d'agitation et de mobilité.

J. D. 32. *Passage entre le terrain diluvien et la formation tertiaire.* —Néanmoins, dans la partie méridionale de la zone où s'est déposé le terrain de transport, au sud de la Baltique, c'est-à-dire à une assez grande distance des rochers d'où a été détachée la plus grande partie des matériaux qui ont formé les éléments de la sédimentation, il y a, sous le rapport pétrographique, un passage entre le terrain diluvien et la formation tertiaire sous-jacente; celle-ci se compose, en effet, de couches argileuses et arénacées, à l'intérieur desquelles il y a des blocs de granit provenant probablement des rochers de la Scandinavie; mais elle est caractérisée par la présence de bancs de lignite et de coquilles tertiaires, appartenant à la période subapennine ou miocène, tandis que les coquilles contenues dans le terrain diluvien sont samblablas à celles qui vivent aujourd'hui dans la Baltique. Toutefois il est évident que le transport de matériaux très-volumineux a pu s'effectuer dans des mers tenant en suspension des détritus aussi ténus que les argiles, et dans lesquels vivaient des animaux marins : c'est pendant la période diluvienne que ce transport a eu lieu sur le plus grande échelle; mais il s'est fait aussi pendaut la période tertiaire, et maintenant encore il a lieu dans des conditions analogues, c'est-à-dire à l'aide de glaces flottantes, sur les rives de la Baltique, sur les bords des fleuves et des lacs du nord de l'Europe.

J. D. 33. *En divers points de l'Europe, les dépôts tertiaires moyens attestent le développement d'actions diluviennes*[1]. — Il est à remarquer qu'au midi des Alpes, le terrains tertiaire miocène que l'on voit affleurer sur la colline de Superga, près Turin, contient des blocs très-volumineux provenant des Alpes, de même que le terrain du

[1] D. A. Les glaces flottantes peuvent transporter des matériaux erratiques. Un glacier simple renferme dans son intérieur fort peu de matériaux, et ce n'est que sur les deux côtés que des parties de la moraine latérale peuvent y être engagées. Les glaciers composés de plusieurs affluents ont seuls sur leur dos de la moraine, qui accidentellement tombe dans des crevasses et se trouve solidement engagée dans le glacier. Dans les glaciers en Europe, la glace de glacier n'est jamais tout à fait pure, partout des matériaux à l'état très-divisé de sable et d'autres menus fragments y sont engagés, et dans les glaciers composés de plusieurs affluents, on rencontre des blocs et des roches d'une certaine dimension.

Danemark, formé à la même époque, renferme des blocs scandinaves. J'ai aussi observé que les terrains tertiaires miocènes dans l'ouest de la France sont des terrains de transport, argileux et arénacés, renfermant de gros fragments arrachés aux roches paléozoïques, et l'on voit même souvent à leur surface de véritables blocs erratiques dont le volume est supérieur à 1 mètre cube.

Ces dépôts attestent l'existence de grands courants qui ont couvert d'immenses étendues de terrain, et qui ont érodé les plateaux élevés de même que les plaines basses : ainsi, à la même époque, pendant la période tertiaire moyenne, le sol de différentes parties de l'Europe a été soumis à des actions diluviennes. Il paraîtrait, d'après les observations de **M. Forchammer**, que l'agitation des eaux qui a déterminé le transport des détritus de roches scandinaves vers le midi, aurait même commencé dès la fin de la période crétacée; car on trouve dans le Danemark ces détritus associés à des débris de coraux dans des couches situées à la partie supérieure de la série crétacée.

J. D. 34. *Grandes accumulations de détritus granitiques.* — Le terrain de transport formé pendant la période diluvienne renferme, dans le Danemark et dans le nord de l'Allemagne, une zone argileuse assez épaisse, située au-dessous des couches arénacées qui constituent la partie supérieure du dépôt; mais, au nord de la Baltique, il s'y trouve fort peu d'argile, et la masse principale est formée de détritus siliceux, ou plutôt granitiques. Des matériaux de diverses grosseurs, provenant des roches primitives de la Scandinavie, ont été transportés du nord vers le sud, et ont formé des accumulations très-épaisses sur les plaines et les plateaux de la Norwége, de la Suède et de la Finlande, au nord et au sud de la Baltique, et nécessairement aussi au fond de cette mer, qui paraît avoir été la partie centrale et la plus profonde de l'immense bassin diluvien. J'ai décrit précédemment[1] les caractères généraux du terrain de transport et des blocs erratiques en Finlande, en Russie, en Pologne, en Allemagne et dans le Danemark. Je me bornerai donc à indiquer les principaux faits que j'ai observés dernièrement en Suède et en Norwége.

Les accumulations de détritus primitifs qui couvrent la majeure partie du sol de la Suède et de la Finlande présentent diverses dispositions et donnent lieu à des accidents de terrain de formes très-variées : on désigne généralement, en Suède, ces accidents sous le nom de *æs* (au pluriel *æsars*); mais on appelle ainsi les élévations de

[1] *Voyages en Scandinavie etc. — Géologie*, par **J. Durocher**, et *Bulletin de la Société géolog.*, séance du 1er décembre 1845.

terrain formées principalement de roc solide, et ne présentant que des lambeaux superficiels de dépôt de transport, aussi bien que les collines composées entièrement de terrain meuble, et l'on désigne même habituellement ces dernières sous le nom de *sandœs* ou *collines de sable*, car le dépôt qui les forme est, dans la plupart des cas, principalement sableux et graveleux.

J. D. 35. *Dispositions principales du terrain de transport déposé sur les collines granitiques de la Suède.* — Souvent le terrain de transport a nivelé les inégalités que présentaient les collines granitiques, et a produit des plateaux et des plaines d'une horizontalité remarquable[2]; d'autres fois les détritus ont été répandus comme un manteau à la surface du roc solide, et alors ils ont conservé la forme arrondie, conchoïde des mamelons de granit et de gneiss. Cependant le dépôt s'est fait de préférence sur le côté méridional, ou plus généralement sur le côté abrité des rochers, et quelquefois il se présente, comme au Kinnekulle, sous forme d'une longue traînée. Les entassements de débris que l'on voit sur le flanc ou au pied des collines ont souvent la forme de monticules mamelonnés, jonchés de quartiers de rochers de plus de 10 mètres de longueur. Ces blocs gigantesques sont couchés pêle-mêle, les uns reposant à la surface du dépôt de graviers et de cailloux, les autres enfoncés dedans. Quelquefois le dépôt de transport simule un amphithéâtre ou un cirque, comme on le voit aux environs de la fonderie de canons d'Åker; il semble que ce soit l'effet d'un grand remous des eaux; ailleurs on y remarque des cavités en forme de bassins, de fonds de chaudière. Beaucoup de lacs en Suède, et principalement en Finlande, paraissent occuper le fond de cavités situées au milieu du terrain sableux, et sont allongés parallèlement à la direction générale des stries dans la contrée environnante.

J. D. 36. *Formes diverses des œsars entièrement composés de terrain meuble.* — Les fig. 2, 3, 4 et 5 représentent les formes principales qu'affectent les œsars, lorsqu'ils sont entièrement com-

[2] D. A. Ces plaines d'une horizontalité remarquable, ces détritus répandus comme un manteau à la surface du roc solide, les dépôts sous forme d'une longue traînée, ces blocs gigantesques couchés pêle-mêle, les uns à la surface, les autres empâtés, ces amphithéâtres et ces cirques etc., l'auteur de tous ces accidents de terrain que nous appelons *terrain erratique*, c'est le *glacier!*

posés de terrain meuble : très-fréquemment, à la surface des plaines diluviennes très-unies, on voit des exhaussements en forme de dômes surbaissés ou de calottes sphériques (voir la fig. 2), ayant de 3 à 6 et 8 mètres de hauteur, et parsemés de gros blocs anguleux.

La fig. 3 indique des collines allongées en forme de chaussées aplaties, semblables à la Serra du Piémont, déposée à l'embouchure de la vallée d'Aoste dans la plaine ; cette forme est principalement développée dans la partie de la Suède que traverse le 60e degré de latitude, et qui est la plus fréquentée ; aussi a-t-elle été particulièrement remarquée ; mais elle n'est pas inhérente aux œsars d'une manière absolue. Ces chaussées sont souvent ébréchées (fig. 4) ; elles ressemblent fréquemment à des prismes triangulaires, dont la section est représentée fig. 5. Elles se voient, en général, dans les parties plates de la Suède, à la surface des plaines ou des plateaux ; mais on en trouve aussi sur le bord et dans le fond même des vallées : dans ce dernier cas, elles ont presque toujours en coupe la forme triangulaire ; et il n'est pas rare de voir trois ou quatre de ces traînées de détritus disposées parallèlement et formant des sillons inégaux, comme c'est indiqué dans la fig. 6, dessinée entre Œfvre, Hogdal et Rätan (Jemtland). Quelquefois les œsars, aplatis en forme de terrasses, sont parsemés de monticules et disposés en forme de dômes semblables à ceux que j'ai dessinés (fig. 7) entre la petite ville de *Halmstad* et la maison de poste de *Kärrby*.

J. D. 37. *Directions des œsars dans la plaine sud-est de la Suède.* — Quant à la direction de ces collines allongées et de ces chaussées aplaties ou à section triangulaire, elle est en rapport évident avec le phénomène des érosions. Nous avons vu que les stries et les sillons ne sont pas dirigés du nord au sud dans toute l'étendue de la Scandinavie ; il en est de même de ces œsars, et les observations que j'ai faites dans les différentes régions où j'ai voyagé m'ont amené à conclure que les traînées de détritus sont généralement allongées dans le sens du système d'érosions qui prédomine dans chaque zone, et, ce qui est encore plus remarquable, c'est que dans les régions où il y a plusieurs systèmes de stries, il y a souvent aussi plusieurs systèmes d'œsars ou de traînées de détritus. Ainsi, j'ai mesuré la direction de plusieurs groupes d'œsars au nord d'Upsal,

et j'en ai vu qui sont dirigés au nord-nord-est et d'autres au nord-nord-ouest. Ce fait se reconnaît même sur les grandes traînées de terrain meuble qui sont indiquées sur les cartes d'Hermelin et Forselle, et à la surface desquelles sont ordinairement établies les routes; cependant il faut noter que ces traînées, qui se prolongent à de très-grandes distances, ne forment pas en général des œsars tout à fait continus, mais des séries ou de petites chaînes d'œsars successifs. La ligne d'œsars la plus considérable de l'Upland, celle qui va d'Upsal à l'embouchure du *Dal-Elf* dans la mer, près de Gefle, présente certaines parties dirigées du nord au sud; néanmoins elle affecte plus généralement la direction N. 15° O.; mais à l'est de cette ligne il y a d'autres séries d'œsars qui courent entre le nord-sud et le nord-nord-est sur de très-grandes étendues; ainsi il en est une qui s'étend à l'est de Sigtuna de *Åsby* à *Åshusby* du N. 13° E. au S. 13° O. sur 8 kilomètres; une autre, dirigée N. 15° E., s'étend sur 20 kilomètres de Läby à Tobo; une autre, dirigée N. 30° E., se prolonge de Carlholm, au bord de la mer, jusqu'auprès d'Ulfors, sur 28 kilomètres.

Plus à l'ouest, dans la *Westmanie*, aux environs de Westeræs, Köping, Nora etc., les lignes d'œsars sont habituellement dirigées, non plus entre le nord-sud et le nord-nord-est, mais entre le nord-sud et le nord-nord-ouest; il y en a un grand nombre que l'on peut suivre sur des distances fort considérables; je citerai pour exemple celle qui s'étend sur 28 kilomètres de longueur du N. 18° O. au S. 18° E., depuis Fellingsbro (entre Linde et Arboga) jusqu'à l'île *Winö* dans le Hjelmar; elle se dessine même au milieu de ce lac sous forme de bancs de sable.

J. D. 38. *Direction des œsars en Finlande.* — En Finlande, où les sulcatures sont dirigées en moyenne du N. 35° O. au S. 35° E., les terrasses de dépôt de transport que j'ai eu l'occasion d'observer sont allongées dans le même sens; mais il faut, en général, avoir soin d'examiner si les œsars sont composés entièrement de terrain meuble ou si ce terrain forme simplement une couverture au-dessus des rochers granitiques, car alors leur direction peut être fort différente de celle des stries.

J. D. 39. *Directions des œsars dans l'est du Jemtland.* — Entre le lac d'Œstersund et la frontière de Norwége, dans la partie orientale

du Jemtland, où la plupart des sulcatures sont dirigées de l'ouest-nord-ouest à l'est-sud-est, les collines diluviennes sont allongées dans le même sens. Mais sur la côte sud-ouest de la Suède, on voit des terrasses, telles que celle représentée par la fig. 7 (entre *Halmstad* et *Kärrby*), qui sont allongées du nord-est au sud-ouest, c'est-à-dire suivant la direction principale des stries dans cette contrée.

Nous avons vu que dans les vallées norwégiennes dont les flancs sont continus et un peu élevés, les stries suivent la direction du thalweg, il en est de même des traînées de graviers et de cailloux que l'on rencontre fréquemment dans les parties où ces vallées ont une largeur un peu grande.

J. D. 40. *Dans les vallées de la Suède le dépôt de transport ne présente pas de terrasses en gradins comme dans les vallées des Alpes et des Pyrénées.* — On ne remarque pas en Suède le phénomène des terrasses diluviennes disposées en gradins, qui se montre si bien développé dans les grandes vallées des Alpes, des Pyrénées (voir fig. 8), des Vosges, et quelquefois aussi dans le nord de l'Allemagne, où les grands fleuves, tels que l'Elbe, l'Oder etc., coulent à un niveau de 30 mètres environ au-dessous de la surface du dépôt diluvien: ces terrasses en gradins sont dues à ce que les eaux ont creusé leur lit au milieu d'un terrain de transport d'une assez grande épaisseur, et l'ont approfondi à plusieurs époques successives, entraînant avec elles les matériaux dont il est composé. Or les grands fleuves de la Suède, de Dal-Elf, le Ljusne-Elf, le Göta-Elf etc., ne coulent point entre des parois rocheuses continues; ils sont simplement bordés de collines détachées et laissant entre elles des intervalles vides: on comprend alors que les courants diluviens de la Suède n'ont point été resserrés entre des barrières continues, mais se sont répandus uniformément sur toute la contrée. Par suite il y a eu diffusion des matériaux transportés sur de très-vastes surfaces, et non agglomération au sein des vallées, d'autant plus que le mouvement des agents de transport a eu lieu, dans beaucoup de cas, obliquement par rapport à ces vallées. En outre, leur fond n'offre pas une pente graduelle et continue, mais une succession de parties plates, souvent occupées par des lacs, et de cascades formant comme des barrages naturels; des fleuves placés dans de semblables conditions ont peu de tendance à approfondir leur lit,

et se rapprochent des rivières canalisées. Ces digues de granit et de gneiss maintiennent le niveau des eaux dans des conditions de fixité qui contrastent avec le changement perpétuel de niveau qu'éprouvent beaucoup de grandes rivières de l'Europe, lorsque leur régime n'a pas été réglé par des travaux d'art.

Les stries que l'on remarque en beaucoup d'endroits disposées obliquement sur les rochers des cascades[1], et que n'a pu encore détruire l'eau qui coule sans cesse à leur surface, montrent combien est faible l'action érosive de l'eau lorsqu'elle est pure; elles attestent aussi que ces barrages ou ces repères naturels sont encore aujourd'hui tels qu'ils étaient à la fin de la période diluvienne, et par suite les eaux de ces fleuves ont été maintenues entre les mêmes limites depuis cette époque jusqu'à présent.

J. D. 41. *Dans les vallées norwégiennes il y a des terrasses de dépôt de transport semblables à celles des Alpes et des Pyrénées.* — Dans les régions montagneuses de la Norwége il y a des vallées bordées de flancs continus, comme dans les Alpes, les Pyrénées et les Vosges, et dans les parties où le dépôt de transport est un peu épais, on y remarque souvent de belles terrasses disposées en gradins, ayant jusqu'à 20 et 30 mètres de hauteur; ainsi leur absence en Suède et en Finlande tient uniquement à une différence dans la structure du terrain. La formation des magnifiques terrasses que l'on voit près de l'embouchure des larges vallées norwégiennes dans la mer, ainsi dans les anciens fiords de *Tronthjem*, de *Værdalsören*, dans le Finmark etc., paraît dépendre[2] de l'action des eaux marines, lorsqu'elles s'élevaient plus haut qu'aujourd'hui; mais il y a aussi des terrasses à une altitude de 5 à 600 mètres au-dessus de la mer, ainsi dans les vallées de Foldal, de la Glommen, du Guldbrandsdal etc.

J. D. 42. *Nature des matériaux constituant le terrain de transport.* — Les matériaux constituant le terrain de transport du nord de l'Europe sont des détritus sableux, argilo-sableux, des graviers, des

[1] D. A. Nous voyons dans les Alpes des surfaces de roches polies et striées en aval des glaciers en activité. Ces polis et stries se conservent parfaitement aussi longtemps qu'elles ne sont pas atteintes par le torrent, mais dès que cela a lieu, en fort peu de temps les stries sont effacées, la surface change d'aspect.

[2] D. A. Ce phénomène dépend des mêmes causes que ceux des terrains erratiques que l'on trouve de 500 à 600 mètres au-dessus de la mer.

cailloux et fragments divers p... ...nit dans les dépôts er-
plupart : quant aux blocs e... ...des Pyrénées. — Lors de
les arêtes tout à fait vives ... ...llemagne, en Danemark,
du dépôt ; ceux que l'o... ...servé que les blocs de granit
petits, ont les angles ... ...gros que ceux du gneiss et des
grossièrement arrondi... ...r proportion est beaucoup plus
sements irréguliers s... ...me eu égard à la distribution re-
riaux est plus conf... ...chisteuses à la surface de la Scandi-
général plus abon... ...ue peut être faite pour le terrain er-
nivelés, et dont l... ...nées ; ainsi l'on trouve, sur le versant
que dans les œs... ...up plus de blocs de granit que de roches
terrasses en gr... ...même dans les vallées pyrénéennes. Cela
est plus sabl... ...tendance du granit à se diviser suivant des
et mieux ro... ...tendance déjà signalée par **M. de Buch** ;
rencontre... ...ence des causes atmosphériques, les roches
ferment ... ...se divisent plus facilement en fragments vo-
dans le... ...roches schisteuses ; et, en vertu de leur plus
leurs ... ...fragments se conservent mieux dans le trans-
indi...
éld...

...démolition des roches qui a fourni une si énorme
...gros blocs livrés au transport, ne me paraît pas avoir eu
...ement pendant la période diluvienne, mais aussi bien
...auparavant, et avoir été activée par la rigueur du climat,
...favorable aux effets destructeurs de la congélation de l'eau
...dans les fissures des roches.

...présence des blocs gigantesques à la surface du dépôt de trans-
...de la Scandinavie montre que c'est vers la fin de la période où
...formait que se sont rencontrées les conditions les plus favo-
...rables au transport de ces grands quartiers de rochers ; ils pré-
...sentent souvent dans leur gisement des circonstances analogues à
celles qui ont été remarquées en Suisse, comme le montre un
gros bloc de granit que l'on voit à 800 mètres environ à l'ouest
des mines de Falun ; il a 8 à 9 mètres de long sur 6 de large et 4
de hauteur ; il est divisé en deux parties et paraît s'être brisé en
tombant [1].

[1] D. A. En tombant du glacier sur le sol.

erratiques du nord a été effectué par
ontré, dans un précédent mémoire [1],
ndus dans le nord de l'Allemagne et le
sociés à des dépôts coquilliers, n'ont pu
courants violents, qui auraient brisé les co-
glaces flottantes, et j'ai cité, à l'appui de cette
ur disposition en amas, en couronnes ou demi-
lancs des collines, et en général, leur abondance
grande sur les élévations de terrain que dans les dé-

de ce que les radeaux de glace qui les transportaient ont été arrêtés sur
qui formaient alors des îles ou des bas-fonds, et en déposant leur charge-
illes y ont laissé une grande quantité de blocs, tandis qu'ailleurs ils sont dissé-
isolément. Le même caractère général se manifeste en Suède : c'est à la surface
ars, qui forment des exhaussements sur les plaines diluviennes, que les blocs er-
s forment des groupes ; ils sont habituellement plus nombreux et en amas plus
érables sur les élévations de terrain que dans les parties basses.

D. 47. *Les glaces flottantes ne proviennent pas de glaciers situés*
s régions de l'ancienne mer scandinave. — **MM. Murchison**
Verneuil regardent aussi le transport des blocs erratiques
ne s'étant effectué à l'aide de radeaux de glaces flottantes [2],
dans l'explication de ce phénomène ils ont attribué aux
s une autre origine que celle indiquée dans mon précédent
oire : ils supposent que des glaciers bordaient l'ancienne mer
ienne, dont les rivages se trouvaient au pied de la chaîne de
agnes qui sépare la Suède de la Norwége et de la Laponie ; des
es de glace, détachées de ces glaciers, auront emporté avec elles
locs qui se trouvaient à leur surface, et auront déposé leur
gement à de très-grandes distances. Mais cette bande monta-
se, d'où auraient été détachés les blocs, est composée princi-
nent de roches schisteuses, et le granit y est en petite quan-
tandis que la plus grande partie des blocs transportés vers le

yage en Scandinavie. — Géologie, par **J. Durocher.**

A. Au grand glacier d'Aletsch, dans les Alpes, nous voyons sur le lac Märjelen
aces flottantes d'un volume assez considérable détachées du glacier. En aval du
de l'Aar inférieur, dans l'Aarboden, j'ai vu des morceaux de glace qui se sont
és de la voûte du glacier et, entraînés par le torrent, ils ont été déposés en grand
e et en amas à 500 mètres en aval du glacier. — Les glaces flottantes sur mer
t certes arriver à des dimensions de vraies îles flottantes d'une très-grande
e.

J. D. 45. *Causes de la prédominance du granit dans les dépôts erratiques du nord de l'Europe, des Alpes et des Pyrénées.* — Lors de mes différents voyages en Russie, en Allemagne, en Danemark, en Suède, Norwége et Finlande, j'ai observé que les blocs de granit sont beaucoup plus abondants et plus gros que ceux du gneiss et des autres roches stratifiées, et que leur proportion est beaucoup plus grande qu'elle ne devrait être, même eu égard à la distribution relative du granit et des roches schisteuses à la surface de la Scandinavie. Une observation analogue peut être faite pour le terrain erratique des Alpes et des Pyrénées ; ainsi l'on trouve, sur le versant méridional du Jura, beaucoup plus de blocs de granit que de roches stratifiées ; et il en est de même dans les vallées pyrénéennes. Cela me paraît provenir de la tendance du granit à se diviser suivant des surfaces conchoïdales, tendance déjà signalée par **M. de Buch** ; en outre, sous l'influence des causes atmosphériques, les roches pyrogènes ou massives se divisent plus facilement en fragments volumineux que les roches schisteuses ; et, en vertu de leur plus grande dureté, ces fragments se conservent mieux dans le transport.

D'ailleurs, la démolition des roches qui a fourni une si énorme quantité de gros blocs livrés au transport, ne me paraît pas avoir eu lieu exclusivement pendant la période diluvienne, mais aussi bien des siècles auparavant, et avoir été activée par la rigueur du climat, qui est si favorable aux effets destructeurs de la congélation de l'eau infiltrée dans les fissures des roches.

La présence des blocs gigantesques à la surface du dépôt de transport de la Scandinavie montre que c'est vers la fin de la période où il se formait que se sont rencontrées les conditions les plus favorables au transport de ces grands quartiers de rochers ; ils présentent souvent dans leur gisement des circonstances analogues à celles qui ont été remarquées en Suisse, comme le montre un gros bloc de granit que l'on voit à 800 mètres environ à l'ouest des mines de Falun ; il a 8 à 9 mètres de long sur 6 de large et 4 de hauteur ; il est divisé en deux parties et paraît s'être brisé en tombant [1].

[1] D. A. En tombant du glacier sur le sol.

J. D. 46. *Le transport des blocs erratiques du nord a été effectué par les glaces flottantes.* — J'ai démontré, dans un précédent mémoire [1], que les blocs erratiques répandus dans le nord de l'Allemagne et le Danemark, se trouvant associés à des dépôts coquilliers, n'ont pu être transportés par des courants violents, qui auraient brisé les coquilles, mais par des glaces flottantes, et j'ai cité, à l'appui de cette manière de voir, leur disposition en amas, en couronnes ou demi-anneaux sur les flancs des collines, et en général, leur abondance beaucoup plus grande sur les élévations de terrain que dans les dépressions.

Cela résulte de ce que les radeaux de glace qui les transportaient ont été arrêtés sur les collines qui formaient alors des îles ou des bas-fonds, et en déposant leur chargement, elles y ont laissé une grande quantité de blocs, tandis qu'ailleurs ils sont disséminés isolément. Le même caractère général se manifeste en Suède : c'est à la surface des œsars, qui forment des exhaussements sur les plaines diluviennes, que les blocs erratiques forment des groupes ; ils sont habituellement plus nombreux et en amas plus considérables sur les élévations de terrain que dans les parties basses.

J. D. 47. *Les glaces flottantes ne proviennent pas de glaciers situés sur les régions de l'ancienne mer scandinave.* — **MM. Murchison et de Verneuil** regardent aussi le transport des blocs erratiques comme s'étant effectué à l'aide de radeaux de glaces flottantes [2], mais dans l'explication de ce phénomène ils ont attribué aux glaces une autre origine que celle indiquée dans mon précédent mémoire : ils supposent que des glaciers bordaient l'ancienne mer diluvienne, dont les rivages se trouvaient au pied de la chaîne de montagnes qui sépare la Suède de la Norwége et de la Laponie ; des masses de glace, détachées de ces glaciers, auront emporté avec elles les blocs qui se trouvaient à leur surface, et auront déposé leur chargement à de très-grandes distances. Mais cette bande montagneuse, d'où auraient été détachés les blocs, est composée principalement de roches schisteuses, et le granit y est en petite quantité, tandis que la plus grande partie des blocs transportés vers le

[1] *Voyage en Scandinavie. — Géologie*, par **J. Durocher.**

[2] D. A. Au grand glacier d'Aletsch, dans les Alpes, nous voyons sur le lac Märjelen des glaces flottantes d'un volume assez considérable détachées du glacier. En aval du glacier de l'Aar inférieur, dans l'Aarboden, j'ai vu des morceaux de glace qui se sont détachés de la voûte du glacier et, entraînés par le torrent, ils ont été déposés en grand nombre et en amas à 500 mètres en aval du glacier. — Les glaces flottantes sur mer peuvent certes arriver à des dimensions de vraies îles flottantes d'une très-grande étendue.

midi est formée de granit : la nature et la composition minéralogique des matériaux déposés au sud de la Baltique dans les parties méridionales de la Suède, montre qu'ils proviennent des collines basses et mamelonnées de la Suède et de la Finlande plutôt que des hautes régions. Les blocs ont été saisis sur presque toute la surface des contrées soumises aux actions erratiques, même dans les régions situées au midi de la Baltique, témoins les blocs de calcaire jurassique de la Pologne et ceux de calcaire à bélemnites du nord de l'Allemagne ; mais ces roches étant beaucoup moins dures et moins tenaces que les roches granitiques de la Scandinavie, les blocs qui en proviennent sont resserrés dans des zones circonscrites autour de leur gisement originaire, et n'ont pas été transportés à d'aussi grandes distances. Puisque les blocs erratiques proviennent principalement de l'intérieur des contrées scandinaves et non de la bande montagneuse située entre la Norwége et la Suède, on ne peut admettre que la glace qui les a transportés ait été détachée de glaciers situés entre les montagnes sur les rivages extérieurs du bassin diluvien ; une semblable origine pourrait être vraie pour quelques blocs provenant des régions élevées ; mais ce n'est pas le cas général. Il y a eu dans ce phénomène des circonstances locales d'une certaine complexité ; mais l'explication qui me paraît la plus simple et qui rend le mieux raison de l'ensemble des faits, est celle que j'ai développée dans le mémoire déjà cité : elle consiste à supposer que pendant les hivers de la période diluvienne, plus froids qu'ils ne le sont aujourd'hui, des glaces d'une assez grande épaisseur se sont formées sur des côtes basses et ont emprisonné les blocs qui s'y trouvaient, et ensuite ayant été mises à flot lors des débâcles du printemps, elles les ont transportées au loin[1] (?) Ce phénomène, qui se produit encore aujourd'hui, sur une petite échelle, sur les côtes de la Baltique, sur les bords des fleuves et des lacs du nord de l'Europe, a dû avoir lieu pendant toute la série d'années où s'est faite l'émersion graduelle des contrées scandinaves, émersion par suite de laquelle les niveaux relatifs des roches et de la surface des eaux ont varié d'une manière successive.

Il est plus difficile d'expliquer le transport des blocs erratiques que l'on rencontre fréquemment sur le haut des sommités très-élé-

[1] D. A. . . . . ?

vées, sur Åreskuttan, par exemple, à une altitude de 1484 mètres; mais ces blocs sont, en général, beaucoup moins gros que ceux des contrées basses; leur volume dépasse rarement 2 mètres cubes, leurs angles sont aussi moins aigus; ils sont analogues à ceux que l'on trouve à l'intérieur des dépôts de débris entassés confusément sur le penchant des collines; leur transport se conçoit plus aisément, sans qu'on ait besoin de recourir à des glaces flottantes[1], que celui de blocs ayant un volume de plus de 100 mètres cubes et ne présentant aucune trace de frottement.

J. D. 48. *Dépôts formés dans les ravins sur les flancs des hautes montagnes en Suède et en Norwége.* — J'ai encore à signaler une manière d'être sous laquelle se présentent quelquefois les dépôts de transport de la Scandinavie, mais seulement dans les régions montagneuses de la Suède et de la Norwége, et cette manière d'être est la seule qui me paraisse offrir quelque analogie avec les moraines des glaciers : ce sont les dépôts occupant le fond des ravins ou de vallons étroits, fortement inclinés, peu étendus en longueur et aboutissant à une crête de montagne ou à un plateau élevé (fig. 8). On y voit une accumulation confuse de débris de diverses grosseurs, laquelle diffère des œsars diluviens, non-seulement par la forme, mais aussi en ce qu'il s'y trouve généralement moins de sable et de menus détritus, et en ce que les fragments, bien qu'un peu usés par frottement, ne sont pas arrondis comme dans la plupart des œsars, au lieu de provenir de lieux éloignés, ils ont été détachés du massif montagneux sur le penchant duquel ils se trouvent; les torrents ont habituellement creusé leur lit au milieu de ces dépôts, et y ont fait des coupes sur lesquelles on peut en étudier la composition. On en voit beaucoup d'exemples dans les ravins ou petits vallons qui descendent du Dovre, du Langfjeld etc., et débouchent dans les vallées principales; sur le penchant d'Åreskuttan et des montagnes qui séparent la Suède de la Norwége. On voit des accumulations de débris du même genre dans les ravins ou découpures que présente le flanc des montagnes dans les Alpes et les Pyrénées.

[1] D. A. Pour de certains blocs et matériaux les glaces flottantes ont fait le transport dit-on, a-t-on dit, mais pour d'autres blocs et matériaux leur transport se conçoit plus aisément, et on ajoute : sans avoir besoin de recourir à des glaces flottantes. En 1862 nous sommes assez *osé* pour dire : *les glaciers monstres les ont déposés.*

J. D. 49. *Remarques sur l'origine de ces dépôts.* — Les partisans de l'école glacialiste considèrent ces dépôts comme d'anciennes moraines; cependant leur origine est problématique, et peut se rattacher à des causes diverses : ainsi ils peuvent avoir été formés par des courants boueux ou d'énormes avalanches de débris provenant d'une fonte subite de neiges et de glaces, ou bien ils peuvent être le résultat d'une accumulation de détritus entraînés de dessus la pente des rochers à la fonte des neiges, qui a lieu chaque printemps; c'est surtout dans le nord de l'Europe que la surface des montagnes est couverte de débris, et souvent il est presque impossible de voir la roche en place. Au-dessous des grandes plaques isolées de névé, qui sont couchées sur le flanc des hautes sommités, dans les crevasses ou les ravins, et qui forment comme des glaciers éphémères, j'ai remarqué des amas souvent fort considérables de gros et petits fragments, de menus détritus, constamment imprégnés d'eau par la fonte des névés, et formant une masse boueuse qui glisse le long de la pente du terrain, et coule sous les pieds lorsqu'on se hasarde à marcher dessus. Il en résulte des dépôts qui sont égalisés par les eaux, et qui ressemblent à ceux que l'on trouve aujourd'hui dans les ravins, à un niveau beaucoup plus bas, à 500 mètres seulement au-dessus de la mer. Quelle que soit l'origine de ces derniers, il faut distinguer les actions locales qui les ont produites des actions générales qui ont formé les dépôts des grandes vallées ou des plaines, et qui ont produit de profondes érosions sur le flanc des montagnes. Je n'ai point vu dans ces ravins de stries ni de sillons disposés dans le sens de leur inclinaison; mais, sur les rochers qui les bordent on voit très-souvent des stries peu éloignées de l'horizontalité, disposées parallèlement à l'axe des montagnes, c'est-à-dire dans un sens à peu près transversal à ces ravins.

J. D. 50. *Distinction des actions locales et des actions générales facile à Åreskuttan.* — Sur le massif d'Åreskuttan, qui est formé de micaschiste, la distinction est facile à faire; dans le ravin le long duquel descend le torrent qui fait mouvoir les soufflets de l'usine à cuivre d'*Husœ*, est un dépôt formé de gros fragments non arrondis et de menus détritus de micaschiste détachés de cette montagne, et descendus de la crête vers le lac Kalln; mais sur le versant septentrional de cette montagne on voit en beaucoup d'endroits une pe

tite couche de sable, de graviers et de cailloux bien arrondis, les uns de micaschiste et de gneiss, les autres de granit, et il s'y trouve aussi des blocs erratiques de granit. Quant aux stries que j'ai vues sur cette montagne et à son pied, elles sont toutes disposées à peu près parallèlement à l'axe, ou coupent l'axe sous un angle de 15 à 20 degrés, mais je n'en ai vu aucune qui soit disposée dans le sens des ravins ou transversalement, et que l'on puisse rattacher aux actions locales qui ont formé les dépôts de débris remplissant le fond de ces ravins.

Ainsi le phénomène des sulcatures et des dépôts de transport est complexe: il y a eu des actions locales, resserrées dans des ravins ou des vallons étroits, et des actions générales, qui se sont développées d'une manière continue le long des vallées, sur les plateaux ondulés et sur les collines mamelonnées de la Scandinavie ; c'est à celles-là que se rattachent les grands systèmes d'érosions, qui se sont étendus, comme nous l'avons fait voir, sur d'immenses surfaces, en suivant des directions généralement constantes.

J. D. 51. *Objection à l'hypothèse des glaciers qui auraient couvert toute la Scandinavie.*

En décrivant quelques-uns des caractères des érosions et des dépôts de transport du nord de l'Europe, j'ai montré que la théorie glaciaire ne peut pas en rendre raison ; je vais indiquer ici quelques autres objections reposant sur ce principe que la Scandinavie n'a pu offrir l'ensemble des conditions que nécessitent la formation et le développement des glaciers actuels.

J. D. 52. *Deux caractères essentiels aux phénomènes erratiques du nord de l'Europe.* — Deux caractères essentiels spécifient les phénomènes erratiques du nord de l'Europe, et les distinguent de ceux des Alpes et des Pyrénées :

1° Leur développement principal a eu lieu non au sein d'une région montagneuse, mais sur des surfaces plates, ondulées, mamelonnées, et jusqu'à des distances de plus de 200 lieues des hautes montagnes (en Finlande).

2° Dans beaucoup de régions, ainsi dans la partie de la Suède qui est située au midi du 64e degré de latitude, et dans certaines parties de la Finlande, le mouvement général des agents erratiques ne s'est pas fait dans le sens des pentes suivant lesquelles coulent les fleuves actuels, mais dans un sens oblique ou presque transver-

sal, et souvent il a eu lieu en remontant; nous allons citer plusieurs exemples de mouvements ascensionnels sur des distances considérables.

J. D. 53. *Difficultés relatives au développement des glaciers en Suède et en Finlande.* — Jusqu'à présent on n'a observé de glaciers que dans des régions montagneuses; cependant des géologues fort distingués, et entre autres **M. de Charpentier,** prétendent que les montagnes ne sont pas nécessaires à la formation des glaciers: «*ce n'est*, suivant lui, *que leur climat froid, neigeux et pluvieux qui détermine la formation, le développement et le mouvement des glaciers.*» Mais cette manière de voir me paraît incompatible avec les faits que j'ai observés dans les contrées boréales : ainsi sur le plateau de l'île Cherry (île de l'Ours), à l'île d'Amsterdam, à l'île des Danois etc., qui se trouvent à peu près à la limite des neiges perpétuelles, on ne voit pas de glaciers, bien que leur climat puisse être pris pour type des climats insulaires ou maritimes, bien qu'il soit aussi neigeux et aussi humide que celui d'aucun lieu du monde; ces îles ont cependant une assez grande étendue, et il s'y trouve même des cimes qui ont jusqu'à 300 mètres de hauteur (à l'île Cherry). Dans mon dernier voyage en Norwége j'ai encore eu l'occasion de me convaincre que sur les terrains plats on ne voit pas de glaciers susceptibles de se mouvoir et de transporter au loin des débris de roches, que la présence de sommités isolées est même insuffisante pour leur formation, et qu'elle n'a lieu que là où se trouve un groupe de rochers ou un massif découpé en plusieurs parties laissant entre elles des gorges ou des dépressions. Les glaciers étant dans l'origine d'épaisses accumulations de neige qui, en descendant vers des zones atmosphériques de plus en plus chaudes, se changent peu à peu en glace par l'imbibition de l'eau et la congélation[1], il est évident que des gorges environnées de pics, et emmagasinant toute la neige qui tombe autour d'eux, et qui glisse suivant les pentes du terrain, de même que l'eau pluviale et celle provenant de la fonte superficielle, ces gorges doivent offrir les conditions les plus favorables à la formation des glaciers. Si la couche de neige tombée pendant l'hiver à la surface d'un sol plat, et incomplétement fondue pendant l'été, pouvait

[1] D. A. Les glaciers en activité nous disent que ce n'est pas de cette manière qu'ils se forment et se développent.

donner naissance à un glacier qui serait nécessairement d'une faible épaisseur, et si l'on supposait que ce glacier s'avançât du nord vers le midi, comme cela aurait eu lieu en Suède et en Finlande, il aurait été fondu avant de pouvoir parvenir à une grande distance de son origine; car même au Spitzberg, à la limite des neiges perpétuelles, sous un des climats les plus froids et les plus neigeux que l'on connaisse, des surfaces inclinées de quelques degrés seulement et tournées vers le midi se dépouillent de neige pendant la courte durée des étés.

Les glacialistes qui ont voulu appliquer leur théorie au nord de l'Europe ont raisonné en général dans la supposition de glaciers locaux et circonscrits aux rochers d'où ils étaient partis; nous avons vu qu'il y a eu en effet des actions locales, mais que la disposition des grands systèmes de sulcatures atteste l'existence d'actions générales, développées dans un même sens sur une grande étendue de pays, ce qui est aussi confirmé par l'orientation des œsars, et par le transport des blocs erratiques que l'on trouve au midi de la Baltique, à des distances de plus de 200 lieues de leur origine.

J. D. 54. *Inclinaison de la zone erratique dans la Suède orientale.* — Nous avons reconnu dans la partie orientale de la Suède un grand système d'érosions, tout à fait continu, qui s'est étendu sur 750 kilomètres de longueur, depuis le lac d'Œstersund jusqu'aux environs de Calmar; or supposons que l'on trace une ligne droite suivant la direction moyenne de ce système de stries (N. 22° 1/2 O.): elle s'étendra de la rive occidentale du lac d'Œstersund jusqu'aux environs de Nyköping, sur une longueur de 480 kilomètres. Si les agents érosifs sont partis non du bassin d'Œstersund, mais de sommités situées plus au nord, ils ont dû descendre dans cette dépression pour la traverser; car elle est disposée obliquement à leur direction, et ils ont tracé des stries sur ses bords, à une altitude de 304 mètres au-dessus de la mer: par suite, la pente moyenne du terrain sur lequel s'est effectué le mouvement des masses érosives, depuis ce lac jusqu'au littoral des environs de Nyköping, est de 304/480,000 ou 0,000,633 ou 2′.

Si, faisant abstraction des dépressions du terrain, on suppose un plan incliné passant par les plus hautes sommités situées au nord-

[illegible] d'Estersund, à une distance de 90 kilomètres [illegible] le voisinage du lac de *Hotagen*, et dont la hauteur est [illegible] 1200 mètres, ce plan, s'abaissant avec une pente uni[illegible] la côte de Nyköping, et passant au-dessus de toutes les [illegible] situées sur le trajet des agents erratiques, aurait eu, sur [illegible] mètres de longueur, une inclinaison de 1200/570,000 ou [illegible] ou 7'. Cette pente est beaucoup plus petite que celle de [illegible] supérieure du terrain erratique de la vallée du Rhône, de[illegible] Grimsel jusqu'au Chasseron (20' 10'') [1].

[illegible] observé de glaciers dans les Alpes, et je n'en ai pas vu non plus ni au [illegible] ni en Norwége, qui se meuvent sur une étendue de quelques kilomètres avec [illegible] notablement inférieure à 3 degrés [2]; l'inclinaison de leur fond est à la vérité [illegible] que celle de leur surface supérieure, mais eu égard à la puissance que peuvent [illegible] les glaciers, il est peu probable que la pente de leur fond s'abaisse au-dessous d'un [illegible] ou même d'un degré et demi; il est donc difficile d'admettre qu'autrefois des [illegible] aient pu franchir les plateaux de la Suède orientale avec une pente de quelques [illegible].

D. 55. *Les agents érosifs ont traversé une série de plans inclinés à pentes opposées.* — Il n'y a pas lieu, en Suède, de déterminer la limite supérieure du terrain erratique, comme l'a fait **M. Élie de Beaumont** [3] pour la vallée du Rhône dans les Alpes, car les agents erratiques n'ont pas suivi une vallée ou un bassin; mais ils ont traversé une série de plateaux et de vallées, et ils ont laissé leurs traces sur les hauteurs comme dans le fond des dépressions. Mais pour bien connaître leur allure, il ne suffit pas de déterminer, comme nous venons de le faire, l'inclinaison maximum de leur surface inférieure, en supposant qu'elle ait formé un plan incliné uniforme; il faut aussi examiner les ondulations principales de cette surface; or ces ondulations présentent une série de plans inclinés en divers sens, de pentes ascendantes et descendantes, en rapport avec les

[1] *Annales des sciences géologiques. — Note sur les pentes de la limite supérieure de la zone erratique*, par **M. Élie de Beaumont.**

[2] D. A. Les glaciers en activité dans les Alpes et partout ailleurs progressent dans toutes les directions, en longueur, largeur et hauteur, en raison de leurs masses générales et locales; la pente est d'une très-faible influence; non-seulement un glacier encadré dans un terrain plat de niveau progresse, mais il peut progresser en *montant des plans inclinés* (**Dollfus-Ausset**, observations de 1844-1862).

[3] D. A. **MM. de Charpentier, Guyot, Escher von der Linth** et grand nombre de glacialistes.

lignes de partage des eaux : ainsi, en quittant le bassin silurien du lac d'Œstersund, les agents erratiques ont dû s'élever jusqu'aux plateaux de Loos, situés 11 myriamètres plus loin, qui séparent cette dépression de celle du lac Siljan. Dans cette partie de leur trajet, ils ont donc eu un mouvement ascensionnel, et ils ont atteint une élévation de 400 mètres, supérieure d'une centaine de mètres au niveau du lac d'Œstersund ; ensuite ils sont redescendus, en se dirigeant toujours vers le sud-sud-est, et parcourant des surfaces diversement ondulées. Mais si on considère la partie occidentale du même système d'érosions, on voit qu'à partir de la contrée d'Œrelro, située entre les lacs Hjelmar et Wenern, et dont le niveau moyen est inférieur à 100 mètres, les agents erratiques ont eu de nouveau un mouvement ascensionnel pour atteindre le plateau d'Ecksjö et Wexiö, situé entre le lac Wettern et la côte de Calmar, et dont l'altitude varie de 2 à 300 mètres. Il en est de même des forces érosives qui ont strié les sommets de l'Omberg, du Taberg, du Billingen et du Kinnekulle, élevés aussi de 2 à 300 mètres ; mais ces forces agissaient du nord-nord-est vers le sud-sud-est, et dérivaient probablement du golfe de Bottnie ; d'ailleurs au nord-nord-est de ces cimes isolées il n'y a que des collines beaucoup plus basses.

J. D. 56. *Le système sulcateur de la contrée d'Åreskuttan a eu un mouvement ascensionnel.* — Le système sulcateur le plus développé dans la contrée d'Åreskuttan, entre le lac d'Œstersund et le col de *Skalstuga*, sur la frontière de Norwége, s'est avancé, comme nous l'avons vu, de l'ouest-nord-ouest vers l'est-sud-est, et s'est élevé jusqu'au haut de la cime d'Åreskuttan, à 1484 mètres ; mais dans la zone dont il dérive, la sommité la plus haute est celle de *Kelahögen* (1262 mètres) ; ainsi en admettant qu'il en soit parti, il aurait eu un mouvement ascensionnel, et se serait élevé à 222 mètres plus haut que son point de départ ; d'ailleurs, avant d'arriver à Åreskuttan, il a dû traverser le lac de *Tengsjön*, élevé seulement de 448 mètres, et qui en entoure la base du côté occidental, et sur le bord duquel on voit des stries dirigées de la même manière (ouest-nord-ouest).

Un autre système d'agents érosifs a envahi la côte occidentale de la Finlande en s'avançant du golfe de Bottnie vers le sud 35 degrés

ouest; ces agents se sont élevés jusqu'à un niveau presque t
inférieur à 100 mètres; ils ont marché sur un plateau
tantôt en montant, tantôt en descendant, et se sont ensuite
vers la partie méridionale du lac Ladoga et le golfe de Finla
ils ont tracé des stries exactement parallèles à celles que l
sur la côte orientale du golfe de Bottnie. Ils ont donc parco
distance de 5 à 600 kilomètres sur des surfaces plates et fai
ondulées, dont l'inclinaison moyenne est nulle, puisqu'
partis du niveau de la mer pour y revenir[1].

J. D. 57. *Lors de la période diluvienne, la surface de la*
navie n'a pu former un plan incliné disposé favorablement
vement des glaciers. — Il est évident que si les érosions et le
de transport de la Suède et de la Finlande avaient été prod
des glaciers, ils auraient dû se développer et se mouvoir
tout autres conditions que les glaciers actuels[2]. Il semble
éviterait ces difficultés en supposant, comme le conçoit **M.**
que les niveaux relatifs des diverses parties de la Scandinav
été autrefois fort différents de ce qu'ils sont aujourd'hui
comme les surfaces sur lesquelles se sont mus les agents er
sont alternativement inclinées dans les deux sens, de la mê
nière que les côtés opposés de toits successifs, dont les arê
représentées par les lignes de partage des eaux; comme
faces offrent sur de grandes étendues de terrain des pentes
ascensionnelles, tantôt descensionnelles, il faudrait suppo
les phénomènes qui ont produit l'accidentation générale de
trées, ou la disposition des lignes de partage des eaux, son
rieurs à la période diluvienne, ce qui est tout à fait inadm

D'ailleurs, si l'on considère l'immense étendue des cont
s'observent des stries et des sillons disposés dans le même
venant des mêmes points, on reconnaît qu'il faudrait suppo
normes changements de niveau pour y faire naître des pl

[1] D. A. Les glaciers en activité nous expliquent parfaitement ce mouvem
sionnel de 222 mètres, de même que la marche sur un plateau ondulé, tantô
tant, tantôt en descendant. Les glaciers ont ces habitudes de locomotion :
allure irrégulière qui n'étonne aucun glacialiste.

[2] D. A. Les glaciers en activité en 1862 ont les mêmes allures, le même rég
vaient leurs aïeux, les glaciers monstres. Des siècles nombreux, je dirai
siècles très-nombreux nous séparent de cette époque.

clinés, tels que ceux sur lesquels se meuvent aujourd'hui les glaciers: ainsi, par exemple, pour que le sol de la Finlande eût offert aux agents erratiques qui l'ont traversée sur 500 kilomètres de longueur, de Camle-Carleby jusqu'à l'extrémité du golfe de Finlande, un plan incliné de 1 degré seulement, il aurait fallu que le bord oriental de la dépression du golfe de Bottnie, sur lequel on voit des stries s'élever au nord-nord-ouest vers le sud-sud-est, fût plus élevé de 8726 mètres que la côte de Viborg pour un plan incliné d'un demi-degré seulement, la différence de niveau aurait dû être de 4363 mètres; bien peu de géologues admettront qu'une déformation aussi énorme se soit opérée depuis la dernière période géologique. D'ailleurs la présence des coquilles marines que l'on trouve à la partie inférieure des œsars de la contrée d'Upsal démontre qu'à cette époque le golfe de Bottnie était un fond de mer comme aujourd'hui; et l'ensemble des faits généraux que l'on observe en Scandinavie porte à croire que la partie centrale de cette contrée a éprouvé depuis la période erratique une élévation de niveau plutôt qu'un affaissement.

J.D. 58. *Difficultés relatives à la traversée des golfes de Bottnie et de Finlande ainsi que de la Baltique.* — Que les agents erratiques, qui ont strié la surface de la Finlande, proviennent du golfe de Bottnie ou de la partie de la Suède qui est située entre le 64e et le 69e degré de latitude, il y a une égale difficulté pour la théorie glaciaire, dans le premier cas à considérer le golfe de Bottnie comme ayant été le berceau des glaciers, dans le second cas à leur faire traverser cette profonde dépression pour remonter sur les collines de la Finlande. La difficulté est encore compliquée par ce fait qu'une partie des masses érosives a dû franchir le golfe de Finlande et la Baltique, vu que sur les îles qui s'y trouvent, ainsi que dans le nord de la Russie et de l'Allemagne on a observé des érosions semblables à celles de la Scandinavie.

On voit que la théorie glaciaire offre des difficultés très-graves et incontestables [1], quand on veut l'appliquer au nord de l'Europe; et les glacialistes doivent penser que si beaucoup de géologues la repoussent, ce n'est pas par esprit de système, mais parce qu'ils y

[1] D. A. La théorie glaciaire explique parfaitement ces faits, et c'est la seule théorie qui peut les expliquer.

trouvent des obstacles fort difficiles à lever. *Je reconnais d'ailleurs que les glaciers peuvent user, polir et strier les rochers, transporter de gros fragments loin de leur gisement*[1]; mais la nature a bien des manières de produire les mêmes effets : la minéralogie, la géologie et la chimie nous en offrent de nombreux exemples.

D'ailleurs je ne puis comprendre qu'un changement de climat, tel que le comporte l'état de nos connaissances en géologie et en physique terrestre, puisse donner lieu à un développement de glaciers aussi gigantesque tant en puissance qu'en superficie, et puisse déterminer leur mouvement dans des conditions tout autres que celles où a lieu le mouvement des glaciers actuels.

J. D. 59. *Coup-d'œil sur les théories proposées pour expliquer les phénomènes erratiques du nord de l'Europe.* — Les faits que j'ai exposés montrent qu'il serait prématuré d'établir une théorie pour expliquer dans tous leurs détails les phénomènes erratiques du nord de l'Europe: ils sont beaucoup plus compliqués que je ne le pensais, lorsque je les étudiai, il y a sept ans, en Finlande, où ils se présentent avec des caractères bien plus uniformes qu'en Suède et en Norwége; du reste, ils ont été jugés par la plupart des observateurs plus simples qu'ils ne le sont réellement. Vu la grande étendue des pays dont la surface a été érodée; vu leur inclinaison, qui est seulement de quelques minutes pour la Suède, et qui est même nulle pour la Finlande; vu l'absence de masses montagneuses offrant des conditions de structure, d'élévation et de position locale analogues à celles que présentent les Alpes; vu que les érosions de la Suède et de la Finlande n'offrent point une disposition divergente à partir des plus hautes sommités, on ne peut appliquer aux phénomènes erratiques du nord l'hypothèse d'une fusion instantanée de neiges et de glaces, que l'on a imaginée pour expliquer ceux des Alpes et des Pyrénées[2]. Ce sont à peu près les mêmes objections qui ne permettent pas d'admettre la théorie des glacialistes, car les cir-

[1] D. A. **M. Dubocher** dit : Je reconnais d'ailleurs que les glaciers *peuvent* user. — Les glacialistes disent : les glaciers, dans les altitudes où ils ne sont pas adhérents au sol, *usent* les surfaces. A des altitudes supérieures, étant adhérents, ils ne sauraient user les roches.

[2] D. A. Les glacialistes n'ont jamais admis une fusion instantanée de neige et de glace. Les glacialistes n'inventent rien : ils s'adressent aux glaciers directement et non aux professeurs, et attendent avec calme et sans idées préconçues les réponses qui leur sont transmises et que chacun peut vérifier; le grand livre de la nature est ouvert à tout le monde.

constances dans lesquelles la théorie d'une fusion de neiges et de glaces est applicable sont aussi celles qui facilitent le développement des glaciers. La théorie qui paraît s'appliquer le mieux au nord de l'Europe est celle qui suppose une émersion brusque de la Scandinavie, plongée antérieurement sous les eaux de la mer; pour rendre compte de la disposition des divers systèmes de sulcatures, il faut supposer qu'il y a eu, non pas un soulèvement unique en un point central, mais plusieurs soulèvements locaux dont les centres et les axes correspondent aux points d'où sont partis les divers systèmes d'érosion; ainsi d'énormes masses d'eau ont été mises en mouvement et poussées dans des sens différents. Beaucoup de ces soulèvements ont dû être simultanés, mais probablement pas tous; il est vraisemblable qu'ils ont eu lieu pendant une certaine période de temps. Les systèmes de sulcatures affectent en général une disposition rayonnante, et, comme nous l'avons vu, il en est que l'on peut réunir ensemble, ou considérer comme les branches d'un système général produit par le soulèvement d'une même région. Cependant il ne faut point attacher à cette manière de voir une importance fondamentale; elle me paraît convenir mieux que les autres à l'ensemble des faits connus, mais elle donne lieu aussi à quelques difficultés; ainsi on n'a pas de preuve positive qu'à l'époque antédiluvienne la Suède et la Norwége aient été plongées dans une grande partie de leur étendue sous les eaux de la mer. Comme le phénomène paraît être complexe et qu'il peut avoir été produit par des causes de natures diverses, je pense qu'au lieu de chercher à en donner immédiatement une théorie définitive, il faut attendre que les effets erratiques aient été étudiés sur toute la surface du nord de l'Europe, et que toutes les parties des régions scandinaves aient été minutieusement explorées. Si une étude semblable des directions des stries était faite dans le nord du continent américain, peut-être éclaircirait-elle les questions épineuses qui, depuis plusieurs années, ont si vivement excité l'attention des géologues.

J. D. 60. *Coup-d'œil sur les phénomènes erratiques des Alpes et des Pyrénées, comparés à ceux du nord de l'Europe.* — Je vais ajouter quelques détails succincts pour indiquer les caractères d'analogie et les différences qui existent entre les phénomènes erratiqes du nord de l'Europe et ceux des Alpes et des Pyrénées, que j'ai étu-

diés en 1840 et 1841. J'ai fait connaître en 1841[1] l'existence
érosions et des blocs erratiques dans les vallées des Pyrénées
dans un mémoire présenté à l'Académie des sciences, en avril 184
et inséré dans les *Voyages en Scandinavie* (*Géographie physiq*
t. Ier, 2e partie), j'ai exposé les principaux faits que j'avais
servés dans les Alpes et les Pyrénées. Depuis l'époque où ce
moire a été présenté à l'Académie, **M. de Collegno**[2] et **M.**
pont[4] ont publié des observations très-intéressantes sur les
nomènes erratiques des Pyrénées.

J. D. 61. *Des érosions dans les Alpes et dans les Pyrénées.* —
érosions tracées à la surface des rochers en Scandinavie, dan
Alpes et les Pyrénées présentent à peu près les mêmes formes
y voit des surfaces mamelonnées, moutonnées et polies; des sil
cylindroïdes de quelques pouces de largeur, accompagnés de s
ayant seulement quelques lignes de diamètre et quelquefois si
qu'elles ne s'aperçoivent qu'à l'aide du reflet de la lumière. Les
catures des Alpes et des Pyrénées offrent souvent, comme en S
dinavie, une allure un peu ondulée, et quelquefois d'un m
centre on voit partir plusieurs sillons et stries qui vont en di
geant; j'en ai représenté (fig. 2) un exemple dessiné dans la v
de l'Aar, entre le Grimsel et la Handeck. Dans la vallée de la
Noire, qui conduit à *Valorsine*, on voit sur un monticule de
dingue un exemple analogue (fig. 10): d'un sillon large d'env
20 centimètres on voit partir une multitude de stries divergen
ce sillon forme une entaille cylindrique creusée sur une paro
rocher très-inclinée; il a (en A) une profondeur de 10 à 12 c
mètres.

Quelquefois les stries semblent aller en montant[5] vers la p
inférieure des vallées, comme on le voit (fig. 7) dans la vall

[1] *Comptes rendus de l'Acad. des sciences*, séance du 2 novembre 1841.

[2] *Comptes rendus de l'Acad. des sciences*, séance du 3 avril 1843.

[3] *Mémoire sur les terrains diluviens des Pyrénées.* — *Annales des sciences géologi*
1843.

[4] *Annales des mines*, 1844.

[5] D. A. Les vallées n'ont pas besoin de se resserrer pour que les stries aillent (ell
semblent pas aller) en montant, c'est-à-dire que leur direction n'est pas parallèle
pente de la surface du glacier ni à celle suposée du fond de la vallée qui les enc
Les glaciers, nous le répétons (on ne saurait assez le dire), progressent, s'éten

l'Aar entre le Grimsel et la Handeck; on remarque cette circonstance lorsque la vallée se resserre beaucoup; alors les masses dont le frottement a strié les rochers ont dû suivre une ligne diagonale résultant de leur mouvement général le long de la vallée et du mouvement ascensionnel déterminé par le resserrement des parois. On a remarqué que dans les Alpes les érosions sont en général mieux marquées sur les cols et dans les parties voisines (les cols du Saint-Gothard, du Grimsel, du Saint-Bernard), que dans les parties inférieures des vallées. Ce fait est peut-être indépendant de la cause qui a tracé les sillons et les stries; en effet, du côté de la Suisse, les contreforts des Alpes et les rochers qui forment l'embouchure des grandes vallées, sont composés de roches calcaires ou de roches tendres, telle que la molasse; tandis que l'axe de la chaîne centrale est formé, en grande partie, de roches dures, granit, gneiss, serpentine et autres roches cristallines, qui résistent mieux aux actions atmosphériques, et j'ai remarqué dans plusieurs vallées, ainsi dans celle de la Reuss, que dès l'instant où l'on entre dans la zone des roches cristallines, on voit apparaître les sillons et les stries fort bien marqués; certaines vallées en offrent jusqu'à leur extrémité; ainsi dans celle d'Aoste on en voit jusqu'à l'entrée de la plaine du Piémont, près d'Ivrée. J'ajouterai que dans le fond de plusieurs vallées des Vosges, qui sont formées de granit, telles que celle de la Moselle et de plusieurs de ses affluents, les sulcatures m'ont paru être plus distinctes que sur les parties élevées. Dans les Pyrénées je n'en ai observé sur aucun col élevé[1], cela tient peut-

s'accroissent dans tous les sens, en longueur, en largeur, en hauteur, suivant leur masse générale et locale. Cet accroissement en hauteur fait des stries qui ne sauraient être parallèles à la surface (voy. nos *Matériaux pour l'étude des glaciers* : chap. *Glaciers en activité*; *Mouvement des glaciers près des roches en place qui les encadrent et les supportent*).

[1] D. A. Dans les Pyrénées le phénomène erratique de l'ancienne extension des glaciers monstres et celui laissé en place par les glaciers actuels en activité est aussi caractéristique que dans les Alpes. — J'ai exploré les Pyrénées en 1847, l'Alpenstock à la main, chaussé de souliers ferrés, accompagné de mon guide des hautes régions des Alpes, **Hans Jaun**, qui portait le bagage, et de mon fils **Gustave** (dans les Pyrénées, guides et touristes font les courses à cheval; on ne trouve pas de guide à pied, et si un individu consent à porter le bagage, tel léger qu'il soit, il ne le portera pas loin, et surtout pas aux cols, et ne se hasardera sur aucun glacier). — Nous avons visité le port de Venasque, le port d'Oo et les lacs qui sont en aval, et partout nous avons vu des surfaces polies et rayées superbes, des terrains erratiques anciens et nouveaux etc.

être à ce que la plupart de ces cols sont beaucoup plus étroits que ceux des Alpes et se réduisent souvent à des arêtes aiguës. On voit, d'après cela, qu'il ne faut pas attacher une importance très-grande à ce fait que les sulcatures sont plus marquées dans les hautes régions des Alpes, que dans les régions basses.

J. D. 62. *Élévation maximum des traces du phénomène erratique dans les Alpes.* — Néanmoins dans les Alpes, les traces d'usure et de polissage ne s'étendent pas jusqu'au sommet des montagnes; ainsi on ne peut s'empêcher de remarquer le contraste frappant qu'offrent les rochers polis et moutonnés entourant l'hospice du Saint-Gothard, celui du Grimsel, ou le glacier de l'Aar, avec les cimes rugueuses, hérissées d'aspérités, terminées par des arêtes tranchantes, qui vont à une élévation de 3000 à 4000 mètres. L'agent inconnu[1] qui a tracé ces empreintes à la surface des rochers a eu son point de départ à une certaine élévation; c'est à partir de la zone actuellement occupée par les névés (environ 2800 mètres au-dessus de la mer) qu'il a étendu son action sur toutes les vallées[2].

J. D. 63. *Élévation maximum des traces du phénomène erratique en Scandinavie.*—Il est remarquable que les traces les plus élevées du phénomène erratique de l'Europe se trouvent aussi tout près de la limite des neiges perpétuelles; ainsi les érosions que j'ai vues accompagnées de blocs erratiques de granit, sur la cime culminante d'Åreskuttan, sont à une altitude de 1484 mètres. Ce sont les plus élevées qui aient encore été observées; or sous cette latitude (63 degrés et demi) la limite des neiges perpétuelles serait à 1500 mètres ou même un peu au-dessous; on ne l'a pas déterminée sous ce parallèle, vu qu'il n'y a pas de cime assez élevée, mais elle ne doit dépasser que fort peu le sommet d'Åreskuttan. Néanmoins on regardera comme fort singulier que ces érosions observées tout près de la zone des neiges permanentes, résultent d'actions qui n'é-

[1] D. A. Cet agent inconnu, c'est l'ex-glacier monstre.

[2] D. A. Au-dessus de 2800 mètres, dans le bassin des glaciers de l'Aar, plus de roches polies, striées, burinées. — Pourquoi? Parce que au-dessus de 2800 mètres, limite des neiges temporaires, les glaciers sont adhérents au sol et ne peuvent ni raboter, ni polir, ni strier, ni buriner les surfaces qui les encaissent. — Assigner la hauteur maximum des anciens glaciers monstres à la limite des roches polies et burinées est une erreur très-grande; en 1862 mes observations m'autorisent à le dire.

taient pas propres à cette montagne, mais qui dérivaient des cimes situées à un niveau plus bas d'au moins 200 mètres [1]. D'ailleurs on trouve assez fréquemment en Norwége des stries et des blocs erratiques sur des montagnes élevées de 12 à 1300 mètres. Ainsi c'est un caractère commun au phénomène erratique du nord et à celui des Alpes, que leur limite supérieure se trouve près de la limite inférieure des neiges ou de la zone sous laquelle a lieu le passage des glaciers proprement dits aux névés [2]. Cependant il faut noter que dans le nord ces sulcatures si élevées sont rares et appartiennent à des systèmes d'érosions qui ne sont pas très-développés; les systèmes principaux et les plus importants, ceux qui ont érodé la partie sud-est et sud-ouest de la Suède et la Finlande, et certaines parties de la Norwége, sont partis de plates-formes dont le niveau moyen est inférieur au moins de 6 à 700 mètres à la limite des neiges perpétuelles et dont les sommités les plus élevées se trouvent encore à 2 ou 300 mètres au-dessous. D'ailleurs on n'observe aucune relation entre ces grands systèmes de sulcatures et les groupes des plus hautes cimes.

J. D. 61. *Élévation de la limite supérieure de la zone erratique dans les Pyrénées.* — Dans les Vosges il n'y a pas de sommité qui atteigne la zone des neiges perpétuelles; dans les Pyrénées, beaucoup de cimes s'élèvent jusqu'à cette zone; mais on ne voit pas, comme dans les Alpes, les érosions se prolonger à une aussi grande élévation, et même partout où je les ai observées elles deviennent plus rares et moins bien marquées sur les hauteurs que dans le fond des vallées. A la vérité, cela ne tient peut-être pas à la nature des forces érosives, mais à une plus grande altération de la surface des rochers sous l'influence des agents atmosphériques. D'ailleurs les blocs er-

[1] D. A. Pas étonnant du tout.

[2] D. A. Nous sommes parfaitement d'accord que les polis et les stries glaciaires ne peuvent se faire qu'au-dessous de la limite des neiges que l'on appelait autrefois *éternelles*, que **M. Durocher** nomme *persistantes*, et qui pour nous sont *temporaires*. Ajoutons encore que la neige qui tombe sur les glaciers se change en névé ou neige grenue, et que ces névés ne s'ajoutent jamais à la surface du glacier : ils les couvrent temporairement. A la fin de l'été 1861 (nous l'avons déjà dit et on ne saurait assez le répéter), les glaciers du bassin de l'Aar étaient à découvert (*aaber*, comme disent les montagnards de l'Oberland), et le passage par la Strahleck de Grindelwald au Grimsel se faisait en cheminant sur la glace de glacier et la roche.

ratiques de granit porphyroïde à longs cristaux de feldspath, que l'on trouve abondamment dans la vallée de la Garonne, proviennent du massif granitique du port d'Oo, qui s'élève jusqu'à la limite des neiges. Néanmoins les érosions, les terrasses de matériaux de transport et les blocs erratiques se voient sur les flancs des vallées, à une hauteur au-dessus du fond beaucoup moindre que dans les Alpes, et qui dépasse rarement 3 à 400 mètres ; ainsi les convois de détritus et de fragments de roche avaient une épaisseur beaucoup moindre dans les Pyrénées que dans les Alpes.

J. D. 65. *Il y a dans les Pyrénées de très-belles surfaces polies et striées.* — Dans le mémoire déjà cité, j'ai indiqué une foule de localités dans les Pyrénées, où l'on voit de très-belles surfaces polies, des stries et des sillons semblables à ceux des Alpes et de la Scandinavie ; j'en ai observé dans la partie supérieure de la vallée de la Têt, dans celle d'Andorre, jusqu'à 300 mètres environ au-dessous du col qui conduit à Vicdessos, dans les vallées de Carol et de la Sègre, en une foule d'endroits dans la vallée de l'Ariége, du Vicdessos et de leurs affluents. Je citerai particulièrement le vallon de Siguier (affluent du *Vicdessos*) comme un de ceux où on voit les surfaces polies les plus belles et les plus étendues ; les sulcatures s'y présentent avec des caractères si nets et si évidents qu'il est impossible de ne pas les remarquer. J'en ai vu aussi dans les diverses branches de la vallée d'Arrau, des vallées de Luchon, du Lys, de l'Essera, de Gèdres, de Gavarni, de Baréges, de Cauterets et d'Ossau ; il n'est pas une seule vallée contenant des roches granitiques où je n'aie observé des stries. Cependant le phénomène des érosions y semble moins développé que dans les Alpes, car les surfaces polies et striées y sont moins abondantes et ont moins d'étendue[1], mais je l'attribue à ce que les roches des Pyrénées sont plus altérables que celles des Alpes. C'est sur certaines espèces de granit à grains moyens que les stries sont le mieux conservées ; on en voit souvent aussi sur les roches calcaires de diverses formations : elles sont fréquentes sur le calcaire de transition dans les vallées d'Arrau, de l'Essera, d'Ossau etc. On en observe aussi sur le calcaire liassique de la vallée de Vicdessos et de ses affluents, sur le calcaire

[1] D. A. Dans les Pyrénées j'ai vu des surfaces polies, burinées, aussi nombreuses que dans les Alpes.

crétacé des environs d'Ussat et de Tarascon ; mais je n'en ai point observé sur les roches friables du terrain tertiaire. Dans la plus grande partie de la chaîne des Alpes occidentales, les érosions sont peu développées, et même moins que dans les Pyrénées, à cause de la grande destructibilité des roches et de l'altérabilité de leurs surfaces. Dans la partie méridionale des Vosges, que j'ai visitée en 1840, j'ai vu aussi des surfaces striées, principalement sur du granit ; leur état de développement ou de conservation est à peu près le même ou un peu moindre que dans les Pyrénées. Je n'en ai point observé dans les parties de l'Auvergne et des Cévennes que j'ai eu l'occasion de parcourir. J'ajouterai que dans les Pyrénées et dans les Vosges, là où les surfaces ont conservé leur poli et leurs cannelures, je n'ai point observé de sillons aussi profonds que dans les Alpes et dans le nord de l'Europe ; je suis donc porté à croire que les forces érosives y ont agi avec moins de puissance, et ont entamé moins profondément la surface des rochers, d'autant plus que le caractère des roches moutonnées y est aussi beaucoup moins développé. Toutefois les roches polies et striées se montrent partout en connexion avec les dépôts erratiques : ces deux ordres de faits se présentent toujours ensemble, et attestent le développement d'un phénomène général ; dans les Pyrénées et dans les Vosges, de même que dans les Alpes, ils se rattachent aux mêmes causes [1].

J. D. 66. *Disposition divergente des stries dans les Alpes, les Pyrénées et les Vosges.* — Sous le rapport de la forme on ne remarque pas de différences véritablement essentielles entre les érosions du nord de l'Europe et celles des Alpes, si ce n'est que dans les Alpes je n'ai point vu de sulcatures présentant les caractères de ces canaux ou profondes ornières que j'ai observés en Suède et en Norwége [2]. Mais, sous le rapport de la direction des stries, de leur relation avec les accidents de la surface du sol, il y a des différences fondamentales entre les phénomènes du nord et ceux du centre de l'Europe. Dans les Alpes et les Pyrénées, les sillons et les stries sont assujettis invariablement à suivre la direction des différentes

[1] D. A. A la cause des glaciers monstres.

[2] *Bullet. de la Société géolog.*, séance du 1er décembre 1845. — D. A. Ces canaux ou profondes ornières observées en Suède et en Norwége se voient en Suisse. Dans la vallée de Hasle, de Guttanen au Grimsel, elles sont fréquentes.

vallées : il en est de même des stries que j'ai vues dans les Vosges. Les forces érosives ont eu leur centre d'action sur l'axe même de ces chaînes de montagnes ; elles ont rayonné dans tous les sens, en suivant les vallées ou les issues qui leur étaient offertes, soit vers le nord, soit vers le midi.

J. D. 67. *Différences dans la disposition des stries à l'intérieur des vallées profondes et sur les plateaux ou régions à collines.* — Dans le massif occidental des montagnes de la Norwége, les stries présentent dans leurs directions des caractères analogues à ceux que l'on observe dans les Alpes ; elles suivent les longues et profondes déchirures qui découpent les flancs de ces montagnes, et elles divergent à partir de leurs crêtes ; mais ces érosions embrassent un champ très-limité, et ne s'étendent pas beaucoup au delà de cette région montagneuse. Ce n'est point là qu'est l'origine des actions développées à la surface de la Suède et de la Finlande ; elles se rattachent, comme nous l'avons vu, à différents systèmes descendus de plates-formes situées au delà du 63e degré de latitude, dont l'élévation moyenne est inférieure à 1000 mètres, et dont les parties les plus élevées dépassent rarement 13 à 1400 mètres. Les actions érosives se sont étendues en rayonnant sur la partie méridionale de la Suède. Ce qui caractérise les stries d'un même système, c'est qu'elles suivent une direction générale à peu près constante, qui n'est point en rapport avec la disposition des plateaux ondulés, mamelonnés, et des dépressions qui les séparent ; ces plateaux présentent une série de toits à pentes opposées, tantôt ascendantes et tantôt descendantes, dont les arêtes ont été franchies tantôt obliquement, tantôt perpendiculairement, et l'inclinaison moyenne de la surface passant par toutes ces arêtes est seulement de quelques minutes pour la Suède, et pour la Finlande elle est nulle.

J. D. 68. *Différences entre les phénomènes erratiques de la Scandinavie et ceux des Alpes ou des Pyrénées.* — Ainsi cette allure générale des stries les distingue complétement de celles qui ont été tracées sur les roches alpines ; d'ailleurs un autre caractère fort important consiste dans le croisement de plusieurs systèmes sulcateurs sous des angles plus ou moins grands, et quelquefois voisins de 90 degrés. Dans les Alpes on voit souvent des stries se croiser sous des angles de 15 à 25 degrés, mais pas plus ; tandis que nous avons cité de nombreux exem-

ples de croisement sous des angles de 70 à 80 et 90 degrés. Nous avons vu aussi qu'outre les sulcatures parties des plates-formes élevées qui séparent la Suède de la Norwége, il en est qui ont été tracées par des agents érosifs marchant à peu près parallèlement au littoral, et par des agents s'avançant de la mer vers la terre ferme. En outre, le développement des actions erratiques dans les Alpes est en rapport avec la distribution des hautes cimes et les ramifications des grandes vallées qui s'étendent jusqu'à leur pied; ainsi c'est dans la vallée du Rhône, qui communique avec les massifs rocheux les plus élevés et sur la partie du Jura placée en regard, que le phénomène erratique se montre sur la plus grande échelle, que les blocs sont les plus abondants, réunis par groupes considérables, et offrant les dimensions les plus gigantesques. Dans le nord de l'Europe on n'observe aucun caractère qui corresponde à celui-là, et nous avons même vu que dans le fond des vallées profondes aboutissant aux cimes élevées, les effets erratiques sont beaucoup moins prononcés qu'à la surface des collines et des plateaux ondulés de la Suède et de la Finlande. Ainsi ces phénomènes sont beaucoup plus compliqués qu'on ne le croit, et une *théorie conforme à la nature*[1] devra rendre raison de ces caractères qui leur sont essentiellement propres.

J. D. 69. *Caractères généraux des dépôts de transport dans les vallées des Alpes et des Pyrénées.* — Les dépôts formés pendant la période diluvienne[2] dans le fond des vallées des Alpes et des Pyrénées, ou dans les bassins qui s'étendent au pied de ces montagnes, ont été décrits par beaucoup d'observateurs; aussi je m'étendrai peu sur ce sujet.

On peut distinguer ces dépôts en deux sortes :

1° Les *amas confus* formés de débris de toutes grosseurs, entassés pêle-mêle et habituellement anguleux, et les dépôts grossièrement stratifiés, terminés en général par des surfaces horizontales, et ayant la forme de terrasses; on y trouve des matériaux divers, moins gros que ceux des amas confus, mélangés d'une plus grande quantité de sable et de gravier, présentant souvent un commencement de triage, et distribués par zones; ils sont presque toujours

[1] D. A. Théorie conforme à la nature — parfaitement d'accord.

[2] D. A. Période glaciaire.

vallées : il en est de même des stries que j'ai vues dans les Vosges. Les forces érosives ont eu leur centre d'action sur l'axe même de ces chaînes de montagnes ; elles ont rayonné dans tous les sens, en suivant les vallées ou les issues qui leur étaient offertes, soit vers le nord, soit vers le midi.

J. D. 67. *Différences dans la disposition des stries à l'intérieur des vallées profondes et sur les plateaux ou régions à collines.* — Dans le massif occidental des montagnes de la Norwége, les stries présentent dans leurs directions des caractères analogues à ceux que l'on observe dans les Alpes ; elles suivent les longues et profondes déchirures qui découpent les flancs de ces montagnes, et elles divergent à partir de leurs crêtes ; mais ces érosions embrassent un champ très-limité, et ne s'étendent pas beaucoup au-delà de cette région montagneuse. Ce n'est point là qu'est l'origine des actions développées à la surface de la Suède et de la Finlande ; elles se rattachent, comme nous l'avons vu, à différents systèmes descendus de plates-formes situées au-delà du 63e degré de latitude, dont l'élévation moyenne est inférieure à 1000 mètres, et dont les parties les plus élevées dépassent rarement 13 à 1400 mètres. Les actions érosives se sont étendues en rayonnant sur la partie méridionale de la Suède. Ce qui caractérise les stries d'un même système, c'est qu'elles suivent une direction générale à peu près constante, qui n'est point en rapport avec la disposition des plateaux ondulés, mamelonnés, et des dépressions qui les séparent ; ces plateaux présentent une série de toits à pentes opposées, tantôt ascendantes et tantôt descendantes, dont les arêtes ont été franchies tantôt obliquement, tantôt perpendiculairement, et l'inclinaison moyenne de la surface passant par toutes ces arêtes est seulement de quelques minutes pour la Suède, et pour la Finlande elle est nulle.

J. D. 68. *Différences entre les phénomènes erratiques de la Scandinavie et ceux des Alpes ou des Pyrénées.* — Ainsi cette allure générale des stries les distingue complétement de celles qui ont été tracées sur les roches alpines ; d'ailleurs un autre caractère fort important consiste dans le croisement de plusieurs systèmes sulcateurs sous des angles plus ou moins grands, et quelquefois voisins de 90 degrés. Dans les Alpes on voit souvent des stries se croiser sous des angles de 15 à 25 degrés, mais pas plus ; tandis que nous avons cité de nombreux exem-

ples de croisement sous des angles de 70 à 80 et 90 degrés. Nous avons vu aussi qu'outre les sulcatures parties des plates-formes élevées qui séparent la Suède de la Norwége, il en est qui ont été tracées par des agents érosifs marchant à peu près parallèlement au littoral, et par des agents s'avançant de la mer vers la terre ferme. En outre, le développement des actions erratiques dans les Alpes est en rapport avec la distribution des hautes cimes et les ramifications des grandes vallées qui s'étendent jusqu'à leur pied; ainsi c'est dans la vallée du Rhône, qui communique avec les massifs rocheux les plus élevés et sur la partie du Jura placée en regard, que le phénomène erratique se montre sur la plus grande échelle, que les blocs sont les plus abondants, réunis par groupes considérables, et offrant les dimensions les plus gigantesques. Dans le nord de l'Europe on n'observe aucun caractère qui corresponde à celui-là, et nous avons même vu que dans le fond des vallées profondes aboutissant aux cimes élevées, les effets erratiques sont beaucoup moins prononcés qu'à la surface des collines et des plateaux ondulés de la Suède et de la Finlande. Ainsi ces phénomènes sont beaucoup plus compliqués qu'on ne le croit, et une *théorie conforme à la nature*[1] devra rendre raison de ces caractères qui leur sont essentiellement propres.

J. D. 69. *Caractères généraux des dépôts de transport dans les vallées des Alpes et des Pyrénées.* — Les dépôts formés pendant la période diluvienne[2] dans le fond des vallées des Alpes et des Pyrénées, ou dans les bassins qui s'étendent au pied de ces montagnes, ont été décrits par beaucoup d'observateurs; aussi je m'étendrai peu sur ce sujet.

On peut distinguer ces dépôts en deux sortes :

1° Les *amas confus* formés de débris de toutes grosseurs, entassés pêle-mêle et habituellement anguleux, et les dépôts grossièrement stratifiés, terminés en général par des surfaces horizontales, et ayant la forme de terrasses; on y trouve des matériaux divers, moins gros que ceux des amas confus, mélangés d'une plus grande quantité de sable et de gravier, présentant souvent un commencement de triage, et distribués par zones; ils sont presque toujours

[1] D. A. Théorie conforme à la nature — parfaitement d'accord.

[2] D. A. Période glaciaire.

usés par le frottement et imparfaitement arrondis. On y trouve quelquefois de très-gros fragments, surtout à la surface, et alors ils sont anguleux. Les amas confus se voient habituellement sur le flanc des montagnes, dans les ravins, dans les vallées étroites et dans le fond des grandes vallées lorsqu'elles se resserrent. C'est, au contraire, dans les parties où elles offrent une largeur un peu grande que se développent les dépôts disposés en terrasses horizontales; c'est alors qu'il y a accroissement dans la fertilité du sol et dans l'étendue de terrain cultivable. D'ailleurs les terrasses sont, en général, beaucoup plus développées et plus régulières dans les parties inférieures des vallées que dans les parties supérieures. Quelquefois il arrive que les dépôts en forme de terrasses sont remplacés tout d'un coup par une accumulation confuse de gros blocs, de petits fragments et de graviers; c'est dans le cas où les vallées se rétrécissent brusquement: ainsi dans la vallée de Bagnes, depuis le bourg de Bagnes jusqu'à Branchier, le dépôt détritique offre quelques indices d'une disposition grossièrement stratifiée, et présente des terrasses à différentes hauteurs, mais un peu après la jonction avec la vallée de la *Dranse*, qui descend du Saint-Bernard, les flancs de la vallée se resserrent et forment un défilé qui a dû être comblé par un entassement confus de débris de toutes grosseurs, amenés des deux vallées; on y voit une grande quantité d'énormes blocs de granit du Val-Ferret. Souvent ces amas ont comblé le fond des vallées jusqu'à une grande élévation, et ils ont formé comme des digues, à travers lesquelles les torrents ont creusé leur lit à une époque plus récente. Dans beaucoup d'amas confus situés sur le flanc des montagnes ou dans les ravins, on voit un mélange de fragments arrachés sur place ou détachés des crêtes situées au-dessus, et de fragments apportés de plus loin; très-souvent ce sont les premiers qui en forment la majeure partie.

Les caractères de ces dépôts de transport sont quelquefois difficiles à discerner lorsqu'ils ont été remaniés par des courants plus modernes, et qu'ils ont été recouverts de nouveaux dépôts. Dans les parties inférieures des vallées, à une certaine distance du centre de la chaîne, les caractères de stratification sont tellement bien marqués, qu'il est impossible de méconnaître leur origine sédimentaire; mais dans les parties supérieures des vallées il y a souvent un pas-

sage des dépôts grossièrement stratifiés et en forme de terrasses, aux amas confus de matériaux anguleux de dimensions très-diverses. Quelquefois le dépôt de transport, composé de sable, graviers, cailloux et blocs, offre des piédestaux cylindriques, couronnés par des blocs et des cônes très-réguliers, comme on le voit dans la fig. 11, dessinée près Villevieille de Queyras (Hautes-Alpes) ; c'est un effet de l'action des eaux pluviales ; dans les parties où il n'y a pas de blocs, cette action donne naissance à des pyramides ; mais dans les parties où il y a des blocs, ceux-ci préservent le dépôt situé au-dessous, et il prend alors la forme d'un piédestal.

J. D. 70. *Disposition des blocs erratiques.* — La disposition des blocs erratiques dans les Alpes, soit qu'ils se trouvent disséminés, soit qu'ils forment des groupes, a été très-bien décrite par **de Saussure, de Buch, de Luc,** et plus récemment par **M. de Charpentier.** Les gros blocs sont ordinairement très-nombreux dans les accumulations de débris qui ont comblé le fond des vallées dans leurs parties étroites ; ailleurs on les voit disséminés sur le fond des vallées, ou sur la pente des montagnes qui les bordent ; généralement ils sont réunis par groupes qui ressemblent beaucoup aux amas de blocs que l'on trouve sur le penchant ou sur le haut des collines en Scandinavie, dans le nord de l'Allemagne ou de la Russie ; un des traits particuliers de ces groupes, soit dans les Alpes, soit dans le nord de l'Europe, c'est que plusieurs blocs paraissent être tombés les uns sur les autres et s'être brisés dans leur chute. Plusieurs de ces groupes, tels que celui de Monthey, forment de petites bandes allongées, à peu près horizontales, déposées sur l'un des côtés de la vallée ; d'autres, au contraire, couvrent sur toute son étendue le flanc d'une montagne. Ces deux manières d'être, et principalement la dernière, se voient très-fréquemment, non-seulement dans les Alpes, mais aussi dans les Vosges et dans les Pyrénées. En général, ces amas ne sont point reliés ensemble de manière à former une ligne continue : ils sont le plus souvent séparés les uns des autres.

Les dépôts de blocs que j'ai vus dans les Vosges offrent les mêmes caractères que ceux des Alpes ; il n'y a de différence que dans la distance à laquelle s'est effectué le transport de très-gros fragments;

elle est beaucoup moindre dans les Vosges et ne m'a pas paru dépasser une dizaine de lieues[1].

J. D. 71. *Sur les dépôts de transport dans les Pyrénées.* — Les dépôts de transport des Pyrénées offrent la même disposition que ceux des Alpes et des Vosges; on y voit des entassements confus et des dépôts grossièrement stratifiés, semblables aux terrasses de la vallée de la Moselle, de celle du Rhône, du Rhin etc.; ils présentent des indices de stratification d'autant plus visibles qu'ils sont plus éloignés de l'axe de la chaîne. Ainsi il y a de magnifiques terrasses dans la vallée de la Garonne à partir de Saint-Bertrand-de-Comminges, dans celle de l'Ariége à partir de Tarascon, et aussi sur le versant espagnol des Pyrénées, dans les vallées de la Segre, de l'Essera etc. La plaine de Puycerda est assez remarquable : elle est formée de cailloux roulés, et dans le diluvium pyrénéen elle représente l'équivalent de la Crau dans le diluvium alpin, mais comme le dépôt des cailloux s'est fait beaucoup plus près de l'axe de la chaîne, ils sont plus gros et moins bien roulés. L'espace qu'ils recouvrent a été nivelé et a formé une plaine unie que l'on est étonné de rencontrer au milieu d'une région montagneuse.

Le dépôt diluvien que l'on voit près de Foix est stratifié, renferme de très-gros cailloux roulés et de petits blocs de granit d'environ 1 mètre de largeur; il ne s'élève pas à plus de 50 mètres au-dessus du niveau actuel de l'Ariége; on voit à sa surface, dans la plaine de Montgaillard, des blocs erratiques de granit ayant jusqu'à 25 mètres cubes. Dans les Pyrénées, le dépôt de transport forme souvent des brèches à ciment calcaire; elles se produisent encore maintenant dans les lieux où les débris erratiques de roches primitives ont été déposés sur des terrains calcaires, ou renferment des fragments calcaires; ils sont alors pénétrés par des infiltrations d'eau contenant en dissolution du carbonate de chaux qui cimente la masse, et la fait passer à l'état de brèche ou de poudingue.

J. D. 72. *Blocs erratiques dans les Pyrénées.* — Dans les vallées pyrénéennes les blocs erratiques les plus abondants sont formés de

[1] D. A. Les glaciers portent sur leur dos les matériaux tombant des parois de roches à découvert qui les encadrent; lorsque toutes les roches du bassin sont couvertes de glacier à de certaines altitudes, le glacier peut arracher des roches, mais jamais il ne peut en tomber sur la surface

granit, il y en a quelques-uns d'ophite, de roches porphyriques et de quartzite ; mais il est plus rare de trouver de gros blocs de roche calcaire ou schisteuse ; j'en ai observé dans toutes les grandes vallées et sur les flancs des rochers qui les bordent, soit sur le versant espagnol, soit sur le versant français ; mais en général les gros blocs anguleux me paraissent ne point avoir pénétré dans les plaines qui s'étendent au pied des Pyrénées ; la plupart se sont arrêtés avant l'embouchure des grandes vallées dans ces plaines, et même il en est peu qui se soient avancés jusqu'aux dernières collines de terrain crétacé et tertiaire formant les contreforts des Pyrénées ; ainsi, dans la vallée d'*Ossau* les blocs détachés soit du Pic-du-Midi, soit des flancs de la vallée, ne s'avancent pas beaucoup au delà d'Arudi, et je n'en ai point observé dans la plaine de Pau. Les blocs détachés des hautes cimes qui dominent Baréges, Gèdres, Gavarni, Cauterets, ont été déposés dans le bassin d'Argelez, ou un peu auparavant ; beaucoup d'entre eux se sont arrêtés dans les parties supérieures des vallées. Dans la vallée de la Garonne on n'en trouve plus au delà de la Broquère, et dans celle de l'Ariége au delà de Saverdun. Dans celle de la Têt on en remarque jusqu'à une assez grande distance de son origine ; ce qui paraît tenir à ce que les flancs de cette vallée sont formés de montagnes granitiques d'une assez grande élévation jusqu'auprès de son embouchure dans la plaine du Roussillon ; mais je n'ai pas remarqué de blocs erratiques dans le grand bassin qui forme l'ancien Delta de la Têt, et dont Perpignan occupe le centre. En général on en rencontre beaucoup plus loin dans les parties inférieures des vallées lorsqu'elles sont flanquées de hautes montagnes. Parmi les blocs erratiques qui ont parcouru la plus grande distance, on peut citer ceux qui se trouvent dans la vallée de la Garonne près de Saint-Bertrand-de-Comminges et la Broquère. Là, on en voit quelques-uns de granit à gros cristaux de feldspath, semblables à celui qui constitue le massif du Port-d'Oo ; ils doivent avoir fait un chemin d'une douzaine de lieues.

Les agglomérations de blocs les plus abondantes se trouvent vers les hautes régions des vallées, et j'ai observé que les grands quartiers de roche, partis de chaque vallée latérale, ne s'étendent pas beaucoup au delà de sa jonction avec la vallée principale ; ainsi les amas de blocs granitiques sont très-multipliés sur les montagnes cal-

caires de la vallée de Vicdessos, sur celles de Rancié, de M
Gourbit, de Rabat etc. Il y a une foule de vallées secondaire
voit de très-grands amas de blocs; mais dans les grandes v
ne voit guère d'amas partis des vallées latérales que près de l
tion ; car c'est souvent à cet endroit que s'est arrêté le cor
de ces vallées, ou bien encore aux points de courbure de
et ils sont placés habituellement sur le côté qui devait
comme une barrière au mouvement du convoi; cette obse
été faite aussi par **M. de Collegno.** En général il m'a
la plus grande masse des gros blocs livrés au transport n'
emportée fort loin, et qu'elle a été déposée en majeure pa
d'avoir parcouru une longue distance, et que ce sont des
cette masse qui ont été entraînés vers les parties inféri
vallées. Le diluvium pyrénéen offre encore une circonstan
quable, c'est la présence de détritus erratiques, de caillo
primitifs, de sable et de graviers à l'intérieur des grottes
sentent des rochers calcaires à une élévation de 50 à 100 m
dessus du fond des vallées, ainsi dans les grottes d'Ussat,
l'Ariége, et dans celles de Niaux, vallée du Vicdessos.

Ces fragments roulés n'ont pu y être introduits que par des courants d'
vaient s'élever à une grande hauteur au-dessus du fond des vallées, et qui d
animés d'une grande vitesse pour tenir des cailloux en suspension à un par

J. D. 73. *Comparaison des dépôts de transport du nord
rope avec ceux des Alpes et des Pyrénées.* — La presque to
dépôts de transport du nord de l'Europe se rattache à l'
dépôts que nous avons désignée sous le nom de *dépôts gros
stratifiés,* vu qu'ils présentent des indices fréquents de s
tion, et que la plupart des matériaux qui les forment son

[1] D. A. Ces courants d'eau animés d'une grande vitesse, qui tenaient en
des matériaux volumineux, d'où venaient-ils? Où allaient-ils? Comment se s
duits? Combien de temps ont-ils duré? Dans une vallée de la Forêt-Noire o
l'horizon est restreinte, et qu'on sait être dominée par un plateau où il se trou
lac, tel que le Schluchsee, pour citer un exemple, on peut attribuer à une
barrage une inondation très-forte qui entraîne blocs et matériaux et les dé
lorsqu'on se trouve, pour citer un autre exemple, sur le col du *Pic-Veleto,* da
Nevada (Andalousie, Espagne), assis sur un bloc erratique, empâté dans u
de 15 à 50 mètres d'épaisseur, et qu'on voit la mer Méditerranée à 2000 mètr
plus bas, et que ce bloc vient du Mulahacen, qui se trouve à une assez gra
à l'est, certes toute idée de courants d'eau monstres cesse... —

arrondis, et que les sables et les graviers y sont en général prédominants. C'est seulement dans les régions élevées et accidentées, situées en Norwége ou à la séparation de la Norwége et de la Suède, que l'on trouve sur le flanc des montagnes, dans les ravins et dans le haut de quelques vallées, des entassements de débris anguleux, qui ressemblent aux amas confus des Alpes et des Pyrénées. D'ailleurs ces amas, que les glacialistes considèrent comme les témoins du grand développement des anciens glaciers, ont peu d'étendue, ne se prolongent pas sur les plateaux mamelonnés de la Suède ni en Finlande. Nous avons vu qu'il y a dans ces deux pays des œsars en forme de terrasses; mais ils diffèrent des terrasses des Alpes et des Pyrénées en ce qu'ils ne sont point adossés aux flancs des vallées, qu'ils reposent sur des plaines unies, et ne présentent pas de gradins; mais dans les vallées norwégiennes, encaissées entre des flancs continus, nous avons vu qu'il y a des terrasses semblables à celles du Rhin, du Rhône, de la Garonne, de l'Ariége etc. D'ailleurs, dans le centre de l'Europe les dépôts de transport offrent rarement la même disposition que les œsars diluviens de la Suède; cependant on observe quelquefois dans les larges vallées des Alpes, surtout près de leur extrémité, dans les plaines ou les bassins où elles se terminent, des collines de débris allongées et aplaties par le haut qui ressemblent aux œsars; ainsi la Serra du Piémont en offre un bel exemple [1].

J. D. 74. *Difficultés que présente l'explication des phénomènes erratiques des Alpes et des Pyrénées d'après la théorie glaciaire.* — Les objections que nous avons faites à la théorie dans laquelle on suppose l'envahissement de la Suède, de la Finlande et des contrées situées au midi de la Baltique par d'immenses glaciers, peuvent aussi s'appliquer aux Alpes, mais avec un degré moindre d'évidence. **M. Élie de Beaumont** a déjà fait voir [2], en comparant les pentes de la limite supérieure du terrain erratique de la vallée du Rhône avec celles des glaciers actuels et des cours d'eau, que les premières sont intermédiaires entre les deux autres, qu'elles sont beaucoup plus faibles que celles des glaciers, mais incomparablement plus

[1] *Annales des sciences géologiques*, de **M. Rivière**, 1842.

[2] D. A. Les glacialistes signalent les terrains erratiques laissés en place par les glaciers, et les terrains erratiques qui ont été remaniés plus tard par les eaux.

grandes que celles des rivières les plus rapides, et qu'elles représentent l'inclinaison de torrents d'une extrême violence[1].

Si l'on compare l'immense développement qu'auraient dû avoir dans les Alpes les glaciers diluviens avec ce qui a lieu dans les régions polaires, qui possèdent une température moyenne de — 15 degrés, il paraît difficile d'admettre une extension aussi considérable que l'exige la théorie des glacialistes. Les traces d'usure, de polissage, et les dépôts erratiques s'observent dans toutes les vallées alpines et sur les pentes des montagnes au-dessous de certaines limites de hauteur; ainsi toute cette région aurait été couverte par des glaciers qui se seraient étendus sur la basse Suisse, sur une grande partie du Jura, et qui auraient envahi le nord de l'Italie jusqu'à la vallée du Pô, car on observe des érosions jusqu'à l'embouchure des vallées alpines, dans les plaines de la Lombardie et du Piémont (ainsi dans la vallée d'Aoste, près Ivrée). Cependant, même dans la partie septentrionale du Spitzberg, où la température se maintient pendant peu de temps au-dessus de zéro, il y a de très-grandes étendues de terrain dépouillées de neige et de glace, et les pentes exposées au midi offrent plus rarement des glaciers que celles exposées au nord; on n'en voit point sur les îles qui bordent le littoral; si l'on examine des vues de côtes du Grœnland ou de la Nouvelle-Zemble, on reconnaît qu'il s'y trouve de grands espaces sans glaciers ni neiges: on a donc de la peine à se représenter des glaciers directement exposés au midi, descendant jusque dans le bassin du Pô, à une hauteur peu considérable au-dessus de la mer. Je pense que l'on s'exagère l'influence des climats humides pour favoriser le développement des glaciers: cette influence est réelle, mais moindre qu'on ne le suppose; ainsi sur les régions littorales du nord de la Norwége, de l'Islande, et sur les îles de l'océan Glacial, qui offrent les types les mieux caractérisés des climats humides, on n'observe pas un développement d'effets glaciaires semblables à celui qui aurait eu lieu dans les Alpes lors de la période diluvienne.

[1] D. A. Aucun glacialiste ne met en doute le savoir-voir d'un grand nombre de géologues; mais on nous permettra de citer les vers de l'immortel Schiller :

. . . . . Noch kömmt das Bündniß zu früh!
Wenn wir im Suchen uns trennen, wird erst die Wahrheit erkannt!

On sait que sur le flanc méridional du Jura les blocs erratiques amenés le long de la vallée du Rhône se sont déposés depuis Gex jusqu'à Bienne : si l'on réfléchit à la grande étendue en largeur occupée par ce dépôt, il paraît peu probable que ce soit la moraine frontale du glacier que l'on suppose avoir rempli la vallée du Rhône. En effet, avant de déboucher dans la plaine suisse, ce glacier n'aurait eu que 2 lieues de largeur au plus, tandis que sur la pente du Jura sa largeur eût été de plus de 30 lieues ; ainsi depuis Villeneuve jusqu'à la montagne de Chasseron, sur une distance d'à peu près 15 lieues, il se serait élargi de plus de 28 lieues. Je pense que les glaciers sont susceptibles de s'étendre un peu lorsque leur lit vient à s'élargir ; mais lors même qu'on les considère comme des masses douées de viscosité ou de plasticité, il paraît difficile d'admettre qu'ils puissent prendre une pareille expansion.

Si l'on examine l'élévation du terrain erratique au-dessus du fond de la vallée du Rhône, on remarquera qu'elle diminue très-peu depuis l'origine de cette vallée jusqu'à son embouchure dans le bassin du lac de Genève, et là où il y a une diminution de hauteur, elle paraît tenir principalement à l'élargissement de la vallée ; ainsi, d'après **M. de Charpentier,** dans les environs de Bex et d'Ærnen, la limite supérieure du terrain erratique est à environ 2800 pieds au-dessus du Rhône ; depuis Brieg jusqu'au-dessous de Martigny (partie large) elle est à 2500 pieds ; mais entre Martigny et Saint-Maurice, où la vallée se resserre, la limite s'élève jusqu'à 3000 pieds, et, depuis là, l'élargissement qui a lieu la maintient à 2300 pieds jusqu'à l'entrée dans la Basse-Suisse. L'épaisseur du glacier, supposé avoir produit le terrain erratique, aurait donc varié en raison des élargissements et rétrécissements de la vallée, mais elle n'aurait éprouvé qu'une faible diminution sur un parcours de 134 kilomètres, qui, en supposant un avancement de 200 mètres par an, aurait exigé un laps de temps de 670 ans. Ce fait a lieu d'étonner quand on voit les glaciers actuels, même à une élévation de 6 à 7000 pieds, éprouver chaque année, à leur surface supérieure, une ablation de plusieurs mètres ; cette destruction superficielle est loin d'être compensée par l'accroissement que peuvent éprouver les glaciers à l'intérieur, par la congélation de l'eau qui s'y infiltre ; elle augmente à mesure que les glaciers descendent dans des zones at-

mosphériques de plus en plus chaudes, et les maintient dans leurs limites actuelles. Pour que l'ablation des glaciers diluviens ait été très-minime et ait pu être compensée par l'accroissement provenant de la congélation à l'intérieur, il aurait fallu qu'à cette époque le climat fût peu différent de celui qui existe aujourd'hui dans la zone des neiges permanentes ; mais il est remarquable que sur le Chasseron (versant méridional du Jura) le dépôt des blocs erratiques s'élève, d'après les mesures de **M. de Buch**, jusqu'à 3100 pieds au-dessus de la plaine suisse, tandis qu'à Villeneuve il ne s'élève qu'à 2300 pieds au-dessus du Rhône ; il faudrait donc qu'en traversant la plaine il eût éprouvé une augmentation d'épaisseur de 800 pieds, malgré son énorme élargissement, ou bien qu'il eût remonté sur la pente du Jura, conséquences difficiles à admettre si les glaciers se meuvent sous l'action de la gravité, comme le démontrent les expériences de **M. Forbes** [1].

J. D. 75. *Considérations comparatives sur la théorie glaciaire et la théorie diluvienne.* — Néanmoins il faut reconnaître à la théorie glaciaire un avantage incontestable, celui de faire intervenir des agents qui produisent encore de nos jours, mais sur une échelle beaucoup plus petite, des effets analogues à ceux qui ont eu lieu anciennement, et c'est cet avantage qui lui a conquis beaucoup de partisans dans ces dernières années, tandis que, dans la théorie diluvienne, les causes que l'on suppose avoir été en jeu ne fonctionnent pas aujourd'hui dans les mêmes conditions qu'autrefois, et, par suite, elles ne produisent pas sous nos yeux des effets tout à fait semblables à ceux du phénomène erratique ; ainsi on n'a pas observé que l'eau des rivières produisît des érosions en forme de stries fines, lors même qu'elle entraîne avec elle des sables et des graviers ; il est effectivement peu probable que des grains de sable disséminés dans un courant d'eau puissent entamer la surface de roches très-dures et y creuser des cannelures rectilignes ; mais si une masse énorme de détritus, formant un courant boueux d'une grande épaisseur, est entraînée avec rapidité, elle exercera un frottement considérable à la surface des rochers, et sera susceptible de l'éroder de même que les glaciers. Cette supposition de courants très-puissants, qui a

[1] D. A. Les glaciers ne se meuvent pas sous l'action de la gravité. Ce n'est pas une pâte qui coule.

été admise depuis **de Saussure** jusqu'à cette époque, présente des difficultés véritables; elle implique des conditions que ne peut réaliser l'état de repos où se trouve actuellement notre globe : elle exige un *cataclysme*, tandis que les conditions de la théorie glaciaire paraissent être plus simples et se réduire à un changement de climats. Mais si l'on examine les contrées boréales, qui sont soumises à un grand froid et entourées d'une atmosphère très-humide, on n'y remarque pas un développement d'actions glaciaires qui justifie les exigences de la théorie, surtout en ce qui concerne les phénomènes erratiques de la Scandinavie. Un abaissement de plusieurs degrés dans la température moyenne pourra produire, dans les Alpes et dans la Scandinavie, des effets analogues à ceux qui ont lieu au Grœnland ou au Spitzberg, mais elle ne pourra déterminer le développement et le mouvement des glaciers dans des conditions autres que celles où ils ont lieu aujourd'hui.

J. D. 76. *Conclusions.* — Un des points essentiels de la question consiste donc à rechercher si ces conditions coïncident avec celles où s'est produit le phénomène erratique, et jusqu'à présent les données que l'on possède à cet égard ne me paraissent pas être à l'avantage des glacialistes.

J. Durocher, novembre 1846.

PHÉNOMÈNES ERRATIQUES

DE LA SCANDINAVIE[1].

C. M. 1. Lorsque **M. Durocher** publia son premier mémoire sur le terrain erratique de la Scandinavie[2], j'eus l'honneur de faire remarquer à la Société combien les faits observés par ce voyageur s'expliquent aisément, en supposant une ancienne extension des glaciers de la Suède et de la Norwége[3]. Il en est de même de celui-ci, dans lequel l'auteur est obligé de se borner à raconter ce qu'il a vu, renonçant à expliquer la plupart des phénomènes géologiques qu'il signale par l'hypothèse des courants diluviens.

C. M. 2. Le nouveau mémoire de **M. Durocher** commence par l'étude de la direction des stries dans le midi de la Scandinavie. Il donne une carte de ces directions variées, dans laquelle il comble quelques lacunes laissées par **MM. Seftstrœm**[4], **Bœthling**[5], **Siljestrœm**[6] et **Keilhau**[7]. Mais ces lacunes sont peu nombreuses,

[1] D. A. Remarques sur le mémoire de **M. Durocher**, intitulé : *Études sur les phénomènes erratiques de la Scandinavie*, par **Ch. Martins**. Extrait du *Bulletin de la Société géologique de France*, 2e série, t. IV (séance du 2 novembre 1846). Paragraphes précédés par C. M., **Ch. Martins.**

[2] *Bullet. de la Société géolog.*, 1845, 2e série, t. III, p. 45.

[3] *Ibid.*, p. 102.

[4] *Untersuchung über die auf den Felsen Scandinaviens in bestimmter Richtung vorhandenen Furchen. Poggendorff's Annalen der Physik und Chemie*, t. XLIII, p. 533, 1838, avec une carte de la direction de ces stries dans toute la Suède méridionale, du 56e au 61e degré de latitude.

[5] *Ueber die Diluvial-Schrammen in Finnland. Poggendorff's Annalen der Physik und Chemie*, t. LII, p. 641. 1841, avec une carte de l'orientation des stries en Finlande.

[6] *Voyages en Scandinavie de la Commission du nord. — Géographie physique*, t. Ier, p. 193, avec une carte de toute la Scandinavie et la direction moyenne des stries en Norwége, tracée par **M. Bravais**, d'après les indications de l'auteur.

[7] *Reise fra Christiania til den östlige Deel af Christiansandsstift i sommeren 1840.* — *Nouveau magasin pour les sciences naturelles de Christiania*, t. III, p. 169. 1841-1843, avec une carte présentant l'orientation des stries dans la partie occidentale du golfe de Christiania.

et en réunissant les trois cartes dont nous venons de parler, il serait facile de reconstruire celle de **M. Durocher.**

Le résultat général des nouvelles recherches de l'auteur est que les directions des stries ne sont point parallèles, ni dans les différentes provinces de la péninsule ni même dans une localité très-circonscrite; mais qu'elles font souvent entre elles, soit dans la même contrée, soit dans les provinces fort éloignées, des angles plus ou moins ouverts. **MM. Siljestrœm** et **Keilhau** étaient déjà arrivés au même résultat, sans en chercher l'explication. **M. Durocher** l'a essayé; mais embarrassé de la multiplicité de ces directions, il s'efforce d'abord de les ramener à plusieurs systèmes ou groupes différents. Ainsi par exemple [1], aux environs de Christiania et du lac Miœsen, il constate que la plupart des stries ont une certaine orientation. Autour d'Åreskuttan, à 380 kilomètres au nord, il en retrouve d'autres à peu près parallèles aux premières, et sans avoir visité la région intermédiaire, sans tenir compte des stries qui dans ces contrées forment des angles considérables avec celles qu'il a choisies, il en conclut qu'un même système sulcateur (c'est l'expression qu'il emploie) s'étendait jadis du 63e au 59e degré de latitude, et marchait du nord vers le sud de la Norwége. L'auteur agit de même pour les stries qui présentent une orientation semblable à Gefle, sur le bord du golfe de Bottnie et aux environs de Gothenburg, ville située sur la mer du Nord. Ce mode de procéder me semble tout à fait arbitraire; car on pourrait tout aussi facilement former d'autres groupes complétement différents des premiers, et qui ne reposeraient pas sur des bases plus réelles. Pourquoi, par exemple, ne pas considérer, comme faisant partie d'un même système, les stries dirigées du nord-nord-ouest au sud-sud-est dans les environs d'Åreskuttan, en Norwége, et les stries orientées dans le même sens qui couvrent la Finlande? Afin de justifier l'établissement de ces divers groupes, il aurait fallu prouver préalablement que les stries orientées de la même manière sont l'effet d'un agent unique, non discontinu, tel qu'un courant ou toute autre masse capable de laisser des traces de son passage; or c'est ce que **M. Durocher** n'a point fait. Ajoutons qu'il ne se

[1] Voy. dans ce volume la carte de **M. Durocher.**

laisse pas arrêter par les directions des stries qui viennent couper ses différents groupes sous des angles plus ou moins ouverts. Ainsi le prolongement du grand système dirigé du nord-nord-ouest au sud-sud-est du lac d'Œstersund au lac Mælar près de Stockholm, c'est-à-dire du 63e au 59e degré de latitude, est à angle droit avec la direction des stries de l'île de Gottland. Les stries dirigées du nord au sud dans le midi de la Suède sont coupées sous un angle de 45 degrés par celles des environs de Cimbrishamn. En outre, **M. Durocher** laisse en dehors de ses dix systèmes d'érosions toutes les stries dont la direction ne s'y rattache pas commodément; celles, par exemple, qui rayonnent autour des groupes des montagnes du Suletimten, au fond du Sognefiord; celles des environs du Snœhættan, d'Ekesjoë, de Wexioë, de Carlskrona, de Cimbrishamn, de l'île de Gottland etc.; et malgré toutes ces licences, quand il s'agit de conclure, *l'auteur reste muet devant la puissance des faits qui lui démontrent que ce n'est pas l'eau qui a buriné les stries dont il s'occupe*[1]: car il faudrait admettre dix courants parfaitement rectilignes qui se seraient dirigés simultanément ou successivement vers les quatre points cardinaux, sans se dévier de leur direction en ligne droite; supposition inadmissible et contraire à tout ce que nous savons des lois qui régissent les cours d'eau, quels que soient leur violence et leur volume.

L'ancienne extension des glaciers scandinaves explique facilement les directions variées qu'affectent les stries dans les différentes régions de la péninsule. Leur parallélisme serait même une objection sans réplique contre l'hypothèse glacialiste. Examinons d'abord ce phénomène en Suisse, où il a été étudié avec le plus de soin et par des hommes qui ont une connaissance approfondie de la marche et des effets produits par les glaciers actuels. *En Suisse, comme en Suède, les stries affectent les directions les plus variées;* il est facile de s'en rendre compte. La plaine qui sépare les Alpes du Jura était autrefois remplie par des glaciers qui débouchaient par les principaux bassins des rivières dont la source est dans les Alpes: l'Arve, le Rhône, l'Aar, la Reuss, la Limmat et le Rhin. Mais chacun de ces glaciers, charriant les espèces de roches qui le caractérisent, avait

[1] D. A. L'eau non-seulement ne burine pas les stries, mais les efface.

une direction différente : ainsi, tandis que le glacier du Rhône traçait dans le Valais, entre Sion et Martigny, des stries dirigées de l'est-nord-est à l'ouest-sud-ouest, l'ancien glacier du Rhin antérieur nivelait dans la direction du sud-ouest au nord-est les roches moutonnées qui portent les ruines de la Bærenburg, près d'Andeer dans les Grisons, et le glacier du Val-Montjoie rayait dans la direction du sud-sud-est au nord-nord-ouest les roches polies des environs de Nant-Bourant, au pied du col du Bonhomme. Il y a plus: la direction des stries gravées par un glacier n'est pas la même dans les différents points de son parcours. Aux environs de Saint-Maurice par exemple, le glacier du Rhône a laissé sur le calcaire des stries orientées du sud-est au nord-ouest, tandis qu'au-dessus de Vevey, la gompholithe est striée presque dans la direction de l'est à l'ouest. Celui de l'Arve a buriné, à l'issue de la vallée de Chamounix, en face du village des Ouches, des stries dirigées de l'est-sud-est à l'ouest-nord-ouest, tandis qu'en sortant de la vallée on trouve, au-dessus de la gorge des Montets, des sillons de plusieurs mètres de longueur dont la direction est du sud-sud-est au nord-nord-ouest. *De plus, les stries tracées par l'affluent d'un glacier viennent souvent couper sous des angles très-grands les stries gravées par le glacier principal.* Ainsi le glacier d'Argentière, qui débouchait par le col de Salvent dans celui du Rhône, a laissé, comme traces de son passage, des stries presque perpendiculaires à celles de ce dernier. Les sillons de la vallée d'Urbach coupent ceux de la vallée de Hasle etc. etc.

Je pourrais multiplier ces citations; je préfère emprunter quelques exemples aux glaciers actuels, afin de prévenir l'objection de quelques adversaires de l'ancienne extension des glaciers de la Suisse, qui, malgré l'identité des effets, nieraient l'origine glaciérique des stries qui se trouvent dans la plaine comprise entre les Alpes et le Jura. Imaginons un instant que le glacier de l'Aar ou la mer de glace de Chamounix viennent à disparaître. On trouvera dans la vallée qu'ils occupaient, des *stries longitudinales tracées par le glacier principal, et des stries transversales burinées par les glaciers affluents qui couperont les premières sous des angles plus ou moins aigus.* On verra des stries ascendantes au rétrécissement des vallées, des stries croisées au point de rencontre de deux glaciers; en un mot, tout ce qui existe sur une plus vaste échelle dans la plaine suisse et en

Scandinavie. Les phénomènes et l'explication seront les mêmes, seulement ils s'appliqueront à une plus grande surface de pays.

Ainsi, dans les plaines de la Suisse, comme dans celles de la Scandinavie, les stries affectent des directions variées ; or, en Suède comme en Helvétie, ces stries sont identiques en tout point à celles que burinent les glaciers actuels, différentes en tout point des canaux sinueux creusés par les eaux ; or je ne crois pas qu'en bonne logique on puisse attribuer à un agent des effets identiques à ceux qu'un agent complétement différent produit tous les jours sous nos yeux.

Pour achever de prouver combien la méthode de **M. Durocher** est arbitraire et féconde en conséquences erronées, appliquons-la un instant à la Suisse. Un observateur trouve sur le bord méridional du lac de Brienz des stries dirigées du nord-est au sud-ouest : dans le Valais il rencontre des stries ayant à peu près la même direction, qu'il retrouve encore dans la vallée de Chamounix, entre le Prieuré et le village des Ouches. Mettant en pratique les principes de **M. Durocher**, il réunit toutes ces stries, dont l'orientation est la même, et en fait un système d'érosion qui, de l'Oberland, passe par-dessus la haute chaîne des Alpes bernoises, traverse le col de Balme, et s'étend jusqu'au pied du Mont-Blanc, tandis qu'en réalité ces stries appartiennent à trois glaciers différents : celui de l'Aar, celui du Rhône et celui de l'Arve, qui n'avaient rien de commun entre eux, sinon que dans un point de leur parcours leurs directions étaient parallèles. Le même observateur sera forcé, pour être conséquent avec lui-même, de considérer comme faisant partie d'un seul système d'érosion les stries orientées de la même manière dans les Alpes, les Vosges et les Pyrénées, sur un espace embrassant quatre degrés latitudinaux, comme celui que comprennent plusieurs des systèmes de stries de **M. Durocher** ; tandis qu'il est de la dernière évidence que ces *stries ont été gravées par des glaciers* descendant des montagnes dans les vallées, et non par un agent général allant du nord au midi ou de l'est à l'ouest.

Fidèle à son principe de prendre la direction des stries pour guide unique dans l'étude du trajet suivi par l'agent qui les a tracées, le même observateur sera forcé d'envisager comme appartenant à des systèmes différents les sillons creusés par un glacier principal, et

ceux qui ont été gravés par ses affluents. Dans la vallée occupée par le glacier de l'Aar[1], ce géologue considérera comme faisant partie d'un système les stries dirigées de l'ouest à l'est que ce glacier a burinées sous nos yeux, et comme appartenant à un autre système celles de ses affluents, les glaciers du Thierberg, du Silberberg, du Grünberg et du Zinkenstock, qui viennent couper les premières sous des angles plus ou moins ouverts.

La méthode suivie par **M. Durocher** me paraît donc vicieuse, soit qu'on l'applique à l'hypothèse des glaciers, soit qu'on veuille la faire servir à celle des courants; car, dans l'une et dans l'autre on ne saurait prendre l'orientation des stries comme indication unique de la marche suivie par l'agent qui les a tracées, sans avoir égard à tous les autres indices qui peuvent nous faire connaître cette direction. Le problème n'est pas insoluble, puisque **M. A. Guyot** est parvenu à figurer sur la carte l'espace occupé par les différents glaciers qui couvraient autrefois la plaine comprise entre les Alpes et le Jura. Mais outre la direction des stries il a eu égard à la nature minéralogique des roches transportées, à leur mode de dispersion, soit à l'état sporadique, soit sous la forme de moraines latérales, médianes ou terminales. Il a suivi ces matériaux depuis leur point de départ dans les Alpes jusqu'à leur point d'arrivée sur le Jura, et il a pu ainsi circonscrire le domaine de chaque glacier avec autant d'exactitude que l'on trace les limites d'une formation superficielle[2].

[1] Voy. le plan du glacier de l'Aar. *Bullet. de la Société géolog.*, 2e série, t. III, pl. V, fig. 12, séance du 2 mars 1846.

[2] Dans son premier mémoire, **M. Durocher** avait attribué à des courants diluviens des canaux sinueux, ramifiés et anastomosés entre eux, qu'il avait vus au bord de la mer[1]. Dans celui-ci, il signale des contradictions dans les explications que nous en avons données, **MM. Agassiz**[2], **Escher v. der Linth**[3], **W. Ph. Schimper**[4] et moi[5]. Or tous les quatre nous avons attribué à l'action de l'**eau** les canaux sinueux et anastomosés observés par **M. Durocher**; seulement **MM. Agassiz** et **Escher** ont considéré les stries gravées dans *l'intérieur* de ces canaux comme des stries de glaciers. **M. Schimper** les attribue à l'action des vagues. Quant à moi, je ne me suis point pro-

[1] Voy. la forme de ces canaux sinueux (*Bullet. de la Société géolog.*, 2e série, t. III, pl. Ire, fig. 1, 3 et 5; celle des stries de glaciers, pl. II, fig. 3, 4, 5 et 6).

[2] *Comptes rendus de l'Acad. des sciences*, t. XXI, p. 133, 15 décembre 1845.

[3] *Bullet. de la Société géolog.*, 2e série, t. III, p. 236, 19 janvier 1846.

[4] *Comptes rendus de l'Acad. des sciences*, t. XXII, p. 43, 5 janvier 1846.

[5] *Bullet. de la Société géolog.*, 2e série, t. III, p. 111, 15 décembre 1845.

C. M. 3. *Caractères des dépôts de transport dans le nord de l'Europe.* — Dans le pays plat, ce terrain se présente tantôt sous l'apparence de vastes dépôts à surface plane, tantôt sous celle de terrasses échelonnées les unes au-dessus des autres, ou sous la forme de levées ou de monticules allongés, connus sous le nom d'*œsars* (*sandœsars des Suédois*). Dans les montagnes il forme des amas irréguliers, sans figure géométrique déterminée. Au lieu de rechercher les signes caractéristiques qui peuvent éclairer sur la nature de ces différents dépôts, **M. Durocher** se borne à décrire leur forme et celle des matériaux qui les composent, comme si cette forme et la plus ou moins grande proportion de sable, de cailloux, de blocs anguleux ou arrondis pouvaient seules nous dévoiler leur origine. Dans son premier mémoire il semblait séparer les œsars des autres terrains de transport, et admettre, d'après les observations de **M. Lyell**, que leur origine est plus récente. Dans celui-ci, cette distinction n'existe plus; l'auteur ne se préoccupe plus de savoir s'ils contiennent des coquilles et si ces coquilles sont identiques à celles qui vivent actuellement dans les mers voisines, ou bien si elles appartiennent à l'Océan glacial ou à des mers plus chaudes. Jamais il ne fait la moindre allusion à l'absence ou à la présence de ces *cailloux frottés et striés*[1], *qui sont caractéristiques des moraines.* Il en résulte que le lecteur, après avoir parcouru ce chapitre, ne saurait se former la moindre idée de la nature et de l'origine de ces dépôts, si différents entre eux. Cependant, déjà avant **M. Durocher,** les recherches de **MM. Hisinger**[2], **Lyell**[3],

noncé sur l'origine de ces stries qui ne m'étaient connues ni par des échantillons ni par une description détaillée ou par des dessins fidèles. Aussi dans ma première réponse je n'ai point parlé de ces stries, et dans la seconde je m'exprimais ainsi[4] : « Le reste de l'argumentation de **M. Durocher** supposant ce que je n'ai pas dit, savoir, que les stries gravées à l'intérieur des canaux sinueux auraient été burinées par des glaciers, je n'ai point à m'en occuper.» Ainsi, comme on le voit, nous sommes d'accord sur l'origine des canaux sinueux, seulement **M. Schimper** diffère de **MM. Agassiz** et **Escher** dans l'explication d'un détail, les stries de l'intérieur des canaux.

[1] J. D. Ces cailloux ont déjà été décrits en 1842 dans l'*Edinburgh new philosophical Journal*, p. 223, et dans la *Bibliothèque universelle*, t. XLI, p. 125.

[2] *Antekninger i physik och geognosie*, t. IV.

[3] *On the proofs of the gradual rising of the land in certain parts of Sweden. — Philosophical transactions*, 1835; et en français, *Mémoires de la Société des sciences naturelles de Neuchâtel*, t. Ier, p. 200.

[4] *Ibid.*, 2e série, t. III, p. 258.

Keilhau[1], et depuis, celles de **MM. Forchhammer**[2], **Loven** et **Desor** ont jeté quelque lumière dans ce chaos.

Sous le nom de *dépôt de transport*, **M. Durocher** a réuni dans une même dénomination trois terrains bien distincts : 1° les *anciennes moraines*, qu'il décrit (p. 64) sous le nom de *dépôts formés dans les ravins de hautes montagnes*. Lui-même reconnaît l'analogie de leur forme avec celle des moraines des glaciers actuels. Malheureusement il ne s'est pas assuré s'ils contiennent des cailloux frottés ou striés. Négatif ou positif, ce caractère était d'une telle importance que je suis forcé de croire qu'il lui était complétement inconnu ; car il aurait dû rechercher ces cailloux avec d'autant plus d'empressement que leur absence eût été une preuve décisive que ces amas ne sont pas des moraines, mais des dépôts uniquement aqueux.

2° Lorsque le dépôt de transport se présente sous forme de surfaces unies ou de terrasses, il offre une stratification imparfaite, et sa forme extérieure accuse l'action des eaux. Mais ces dépôts sont presque entièrement formés de cette couche de boue, de sable et de graviers (*moraine profonde*) qui se trouve à la partie inférieure de tous les glaciers, remaniée postérieurement par les eaux. La preuve en est dans la présence de gros cailloux, ou plutôt de blos striés par la glace, blocs qui n'existent ni dans la mer, ni dans les lacs, ni dans les torrents ; car non-seulement *le charriage par l'eau ne strie pas les cailloux, mais il efface les stries*, comme on peut s'en assurer dans tous les torrents qui sortent des glaciers de la Suisse[3].

Pendant le voyage qu'il a fait cet été dans la Scandinavie méridionale, **M. Desor** a trouvé ces cailloux striés, en Danemark, dans le terrain de transport à surface plane, à travers lequel passe le chemin de fer de Copenhague à Rœskild, et aux environs de Kiœge, sur la côte de Seeland, au sud de la capitale. En Norwége il les a retrouvés dans le terrain de transport en forme de terrasses de Sorgenfry, près de Christiania, sur la route qui mène de cette ville à Krogleben, et dans les dépôts limoneux des bords de la

[1] *Nyt magazin for naturviderskaberne*, t. III, p. 169, 1842.

[2] *The Athenæum*, n° 987, 26 septembre 1846, p. 1003.

[3] D. A. Des expériences directes faites par **E. Collomb** prouvent que l'eau ne strie pas les roches et qu'elle efface les stries glaciaires.

Drammen, à son embouchure dans le Drammen-Fiord. En Suède il a revu ces cailloux striés dans le même terrain, en particulier dans les terrasses limoneuses de Berg, près du lac Wettern.

Ces cailloux striés ne sont pas le seul indice qui dévoile l'origine glaciaire de ces dépôts ; ils renferment encore des coquilles marines. Un grand nombre n'ont pas leurs analogues dans les mers voisines : ce sont, suivant **M. Loven**, des *espèces arctiques reléguées maintenant dans les mers glaciales*, mais qui vivaient dans la mer du Nord à l'époque où la côte, en s'abaissant, plongea dans l'Océan les moraines déjà remaniées par les torrents diluviens, résultant de la fonte des glaciers.

3° *Les œsars* (*sandœsars des Suédois*). Ces monticules aux formes si caractéristiques appartiennent à une époque fort différente de celle du terrain de transport erratique dont nous venons de parler ; ils sont une des nombreuses preuves de l'immersion et de l'émersion de la côte scandinave. Déjà **MM. Al. Brongniart, Hisinger** et **Lyell** y avaient reconnu la présence de coquilles vivant actuellement dans la Baltique (*Tellina baltica, Cardium edule, Mytilis edulis, Litorina crassior, L. litorea, Neretina fluviatilis*), à des hauteurs variant de 9 à 24 mètres au-dessus du niveau du golfe de Bottnie. Ces œsars sont donc l'ouvrage de la mer pendant la période d'immersion de la Scandinavie. Ce sont de véritables dunes (*Revler* des côtes du Jutland) à stratification non horizontale, formées par la lame qui, dans les gros temps, passe par-dessus ces remparts, et y dépose les cailloux et le sable qu'elle a soulevés au fond de la mer[1]. *Les cailloux qui composent ces œsars ne sont jamais striés :* ils ne sauraient l'être ; car, quand même ils eussent été striés auparavant, leurs stries auraient été bientôt effacées par le frottement qu'ils ont subi en roulant sur le rivage. Les œsars sont presque *toujours recouverts de blocs erratiques anguleux*, et l'opinion la plus probable est celle qui attribue leur transport et leur dépôt à des radeaux de glaces flottantes. Une autre circonstance prouve encore l'origine récente des œsars, c'est qu'ils sont superposés quelquefois à des dépôts tourbeux, dont l'origine peut être contemporaine de celle des glaciers, mais ne saurait lui être postérieure. En outre, on y a

[1] *Ueber Geschiebebildungen und Diluvial-Schrammen in Dänemark*, von **G. Forchhammer**. — *Poggendorff's Annalen der Physik u. Chemie*, t. LVIII, p. 609. 1843.

trouvé des bateaux, une maison enfoncée à la profondeur de 19 mètres, et dont le foyer contenait encore du charbon[1]. **M. Durocher** a donc tort de terminer ce chapitre en disant (p. 64): « *Les partisans de l'école glacialiste considèrent ces dépôts comme d'anciennes moraines.* » Déjà dans ma première réponse[2] j'avais longuement insisté sur l'action des eaux qui ont remanié les matériaux des moraines, ou les ont entraînés pour former les terrasses et les œsars. En Suisse, la débâcle aqueuse, résultat de la fonte des glaciers, a produit des effets analogues; mais en Suède le phénomène s'est compliqué de l'immersion et de l'émersion successive d'une grande partie du littoral, avant et après l'ancienne extension des glaciers.

C. M. 4. *Réponse aux objections de M. Durocher contre l'ancienne extension des glaciers de la Scandinavie.* — La péninsule scandinave est un pays mixte composé de montagnes, de vallées et de plaines ondulées. Ce pays n'a pas conservé et ne conserve pas un niveau constant au-dessus de la mer; il a été émergé et immergé une ou plusieurs fois. Il a donc été soumis à des actions très-complexes: *action des glaciers plus étendus autrefois que de nos jours, action de l'eau résultant de la fusion de ces glaciers, action de la mer à une distance plus ou moins grande de ses rivages actuels.* Il serait donc aussi peu logique de tout expliquer par une *calotte de glace*, que de vouloir rendre compte de tous les faits au moyen d'un ou plusieurs courants diluviens. Or **M. Durocher** suppose toujours que les partisans de l'ancienne extension des glaciers attribuent *exclusivement* à l'action de la glace tous les phénomènes erratiques de la Scandinavie. Il se crée ainsi un adversaire commode et facile à combattre. Venons au fait: l'auteur, supposant, d'après la direction des stries, qu'un même agent a sillonné la Suède depuis le 63e jusqu'au 59e degré de latitude, calcule la pente générale du terrain sur une longueur de 450 kilomètres; il la trouve de deux minutes seulement, et conclut qu'un glacier ne peut pas se mouvoir sur une pente aussi peu inclinée. — Le glacier de l'Aar se meut sur un fond dont l'inclinaison est de 1° 30′ seulement. En faisant cette objection, **M. Durocher** suppose avec **M. Forbes** que le mouve-

[1] **Lyell**, *On the proofs of a gradual rising of the land in certain parts of Sweden.* — *Philosophical transactions*, 1835, p. 8.

[2] *Bulletin de la Société géolog.*, 1845, p. 122 et suiv.

ment des glaciers n'est autre chose que celui des corps graves[1]; s'il avait étudié ce mouvement, il saurait qu'il n'en est pas ainsi. Le glacier inférieur de l'Aar se meut sur un fond très-inégal d'une pente 1° 30′, pente presque nulle, et sur laquelle un corps solide resterait immobile. Dans un corps grave solide, visqueux ou liquide, l'extrémité inférieure marche avec une vitesse sensiblement égale à celle des parties supérieures. Dans un glacier le mouvement se ralentit vers son extrémité inférieure: ainsi cette année, tandis qu'à la partie moyenne de sa longueur, le glacier de l'Aar avait parcouru 75 mètres en 396 jours, il ne s'était avancé que de 41 mètres près de son extrémité. L'influence de la pente est même si faible sur la marche des glaciers qu'on ne saurait l'assimiler au glissement des corps graves. **M. Desor** l'a déjà démontré[2], nous l'avons vérifié cet été, **M. Dollfus** et moi. En effet, pendant que le glacier de Grünberg, un des affluents de celui de l'Aar, avait marché en dix-sept jours de $2^m,22$, celui-ci s'était avancé de $2^m,94$; et cependant la surface du premier a une inclinaison de 30 degrés, celle du second une pente de 3 degrés seulement[3].

La deuxième difficulté que **M. Durocher** élève contre l'ancienne extension des glaciers en Scandinavie, c'est qu'ils n'auraient pu traverser des plans inclinés à pentes opposées. Pour se convaincre que cette objection n'en est pas une, il suffit d'aller en Suisse et d'examiner le profil de quelques glaciers, où l'on voit la roche sur laquelle ils reposent. *On reconnaît que tous les glaciers passent par-dessus des plans inclinés à pentes opposées.* Je me contenterai de citer les glaciers du Rhin postérieur, d'Alalein, de Tschingel, du Grünberg. Les anciens glaciers de la Suisse offrent des exemples encore plus frappants de ce mode de progression; je rappellerai à **M. Durocher** la succession des collines qu'il a dû voir en descendant la vallée de l'Aar: 1° les deux Bærenbühl, 2° les groupes de roches moutonnées que l'on traverse en allant du glacier de l'Aar à l'hospice du Grimsel, et qui forment le contrefort du Nægelisgrætli; 3° la Spitalnollen, 4° le Kirchet, qui sont couverts de tous côtés de stries caractéristiques de l'action des glaciers, identiques en tout à celles que le glacier de l'Aar burine sous nos yeux.

[1] *Comptes rendus de l'Acad. des sciences*, t. XXIII, p. 209, 27 juillet 1846.
[2] *Comptes rendus de l'Acad. des sciences*, t. XIX, p. 1303, 9 décembre 1844.
[3] *Comptes rendus de l'Acad. des sciences*, t. XXIII, p. 823, 26 octobre 1846.

J'ai été étonné, je l'avoue, de trouver parmi les objections contre l'extension des glaciers la remarque suivante : « Dans la contrée d'Åreskuttan, dit **M. Durocher**, l'agent erratique a eu nécessairement un mouvement ascensionnel ; il est parti d'une contrée plus basse pour monter à 222 mètres plus haut que son point de départ : donc ce n'est pas un glacier qui a gravé les stries d'Åreskuttan. » Cette difficulté est incontestable ; mais il me semble que s'il est difficile d'admettre qu'un glacier puisse s'élever sur une pente [1], il est encore plus difficile de se figurer un courant diluvien qui remonte son cours ; et si l'on était forcé de choisir entre les deux suppositions improbables, il n'est personne qui n'optât pour le glacier. En effet, il n'est pas *démontré* qu'un glacier ne puisse pas remonter une pente en s'appuyant contre un obstacle inférieur, tandis que les eaux ne sauraient se mouvoir contre les lois de la pesanteur. Ainsi donc, cette prétendue objection contre les glaciers n'est qu'un problème local dont **M. Durocher** n'a pas trouvé la solution. Il en est une cependant que je vais essayer de donner, dans l'intérêt des courants comme dans celui des glaciers. La côte de Norwége est, comme cela se sait, sujette à des oscillations considérables, et l'on peut affirmer avec confiance qu'à l'époque glaciaire les niveaux relatifs de la mer, de la côte et de l'intérieur des terres n'étaient point ce qu'ils sont aujourd'hui. Partout dans le golfe de Christiania et ailleurs les stries se prolongent sous la mer. Il est donc extrêmement probable qu'à l'époque des glaciers la côte était plus élevée qu'elle ne l'est actuellement. En effet, pour que des glaciers puissent glisser sur le fond de la mer, il faut que sa température soit *constamment* à zéro ; car si la température de celle-ci se maintient au-dessus du point de congélation pendant quelques mois de l'année seulement, le glacier peut surplomber la surface de la mer et ne strie pas son fond. Je crois avoir établi cette vérité dans mes observations sur les glaciers du Spitzberg [2]. A l'époque glaciaire, la côte était donc probablement plus haute qu'elle ne l'est aujourd'hui, puisqu'il faut la supposer plus élevée pour que toutes les stries soient émergées. Mais depuis elle a subi des oscillations remar-

[1] D. A. Un glacier peut parfaitement s'élever sur une pente. 1862.

[2] *Bibliothèque universelle de Genève*, juillet 1849 ; *Bulletin de la Société géologique*, séance du 4 mai 1840, et *Edinburgh new philosophical Journal*, t. XXX, p. 284. 1841.

quables, témoins les balanes d'Udevalla vues par **M. Brongniart**[1] à 60 mètres au-dessus de la mer, les serpules fixées sur des roches polies, entre Christiania et Aggersbach[2], et plus que tout cela le banc argileux et coquiller (*Skatenschicht*), décrit par **M. Keilhau**, et qu'on retrouve jusqu'à la hauteur de 188 mètres au-dessus de la mer, et à 12 myriamètres de la côte[3]. L'oscillation du littoral de la péninsule est donc un fait mathématiquement démontré. Voyons maintenant si la portion de la côte norwégienne, dont parle **M. Durocher**, présente des traces de ces changements de niveau. Åreskuttan est situé sous la même latitude que Tronthjem, mais à 10 myriamètres dans l'intérieur des terres. Or, dans le Beistadfiord, situé à 11 myriamètres au nord de Tronthjem et d'Åreskuttan, **M. de Buch**[4] trouve, à 140 mètres d'élévation, des coquilles marines qu'il considère comme les mêmes que celles du dépôt des environs de Drammen, la plupart vivant actuellement dans les mers du Nord. Ce sont: *Mytilus edulis, Cardium edule, Mya truncata. Venus islandica* etc. Un peu au sud de Tronthjem, à l'entrée du Jœrgenfiord, par 62° 20′ de latitude, **M. Keilhau**[5] remarque des terrasses qui s'élèvent à 200 mètres au-dessus de l'Océan. Ainsi donc, la côte de Tronthjem, qui correspond à la montagne d'Åreskuttan, a été sujette, comme les autres, à des oscillations considérables, et l'on ne saurait conclure de son relief actuel à celui qu'elle avait à l'époque où les stries ont été burinées.

La difficulté soulevée par **M. Durocher** n'est donc pas insoluble, et tous ses calculs sur le mouvement ascendant du glacier sont sans fondement, puisqu'il est à peu près démontré qu'à l'époque glaciaire, les nivaux relatifs de la mer, de la côte et de l'intérieur des terres n'étaient point ce qu'ils sont aujourd'hui. Reste à vérifier si

[1] *Notice sur les blocs de roches des terrains de transport* (*Annales des sciences naturelles*, t. XIV, 1828).

[2] **Scheerer**, *Beiträge zur Kenntniss des Seftström'schen Frictionsphænomene* (*Poggendorff's Annalen*, 3e série, t. VI, 1844).

[3] **Daubrée**, *Note sur le phénomène erratique du nord de l'Europe.* (*Bulletin de la Société géologique*, t. XIV, p. 574, 19 juin 1843.)

[4] *Reise durch Norwegen und Lappland*, t. Ier, p. 251.

[5] *Nyt Magazin for Naturviderskaberne*, 1837, p. 220, et **Bravais**, *Sur les lignes d'ancien niveau de la mer dans le Finmark* (*Voyages de la Commission du Nord en Scandinavie. — Géographie physique*, t. Ier, p. 117).

la direction moyenne des stries est réellement celle qu'il indique, car je dois faire observer que **M. Siljestrœm**, qui a visité cette localité avant **M. Durocher**, indique seulement des stries[1] dirigées du nord au sud, d'autres de l'est à l'ouest, et nullement ces stries allant de l'ouest à l'est sur lesquelles **M. Durocher** a basé ses raisonnements.

La quatrième objection de **M. Durocher** est une difficulté du même genre. Il ne comprend pas qu'un glacier traverse obliquement la profonde dépression du golfe de Bottnie pour remonter sur les collines de la Finlande. Je le comprends encore moins pour un courant; en effet, un courant se dirigeant du nord-ouest vers le golfe se serait évidemment dévié en entrant dans cette dépression, et aurait suivi sa direction, qui est celle du nord-est au sud-ouest, de même qu'une rivière qui entre dans une vallée en prend immédiatement la direction. Mais on conçoit qu'une masse de glace traverse obliquement une dépression. Les glaciers de la Suisse nous en offrent de nombreux exemples. Il faut se rappeler ensuite que la pesanteur spécifique maximum de la glace de glaciers est, d'après les expériences de **M. Dollfus**, à celle de l'eau pure dans le rapport de 909 à 1000, rapport qui devient pour l'eau salée celui de 883 à 1000. Cette glace surnage donc en partie à l'eau, et il suffira qu'un glacier appuie ses bords sur le rivage pour pouvoir se soutenir au-dessus d'une masse liquide. Ces conséquences se vérifient dans la nature. Le glacier d'Aletsch, en Suisse, surplombe le lac Mærgelen; tous les glaciers qui occupent le fond des baies du Spitzberg s'avancent au-dessus de la mer, à une certaine distance, en s'appuyant sur les côtés de la baie[2]. Pour toutes ces raisons il ne me paraît pas absurde de supposer, en grandissant les proportions du phénomène, que les glaciers traversaient autrefois le golfe de Bottnie, comme ils ont probablement traversé les lacs de la Suisse. Dans ce pays on peut démontrer, par la limite altitudinale des anciennes moraines latérales laissées par ces glaciers, que leur base ne reposait pas sur le fond du lac, mais correspondait à peu près au niveau actuel de la surface de l'eau.

[1] *Carte de la Scandinavie*, par **M. Bravais.** (*Atlas des voyages de la Commission du Nord.*)

[2] Voy. mes *Observations sur les glaciers du Spitzberg* (*Bibliothèque universelle de Genève*, t. XXVIII, p. 160, juillet 1840).

La portion de sa carte de la direction des stries, que **M. Durocher** a calquée sur celle de **M. Sefstrœm**[1], présente sur la côte du golfe de Bottnie, entre Gefle et Œregrund, des flèches dirigées du nord-est au sud-ouest, comme si la force qui les a burinées s'avançait de la mer vers l'intérieur des terres. **M. Durocher** en tire un grand argument contre les glaciers, qui, dit-il, ne sauraient s'élever du fond d'un bassin, comme le golfe de Bottnie, sur le rivage. L'objection s'applique également aux courants; mais je ne la discuterai pas, car j'ai de fortes raisons de penser que la direction indiquée par **M. Sefstrœm** n'est pas la direction moyenne, mais qu'il a été induit en erreur par des déviations locales. Les souvenirs de mon voyage de 1839, dans lequel j'ai fait la route de Gefle à Upsal, qui traverse cette région, ne me rappellent rien de semblable.

Telles sont les objections que **M. Durocher** présente contre l'ancienne extension des glaciers de la Scandinavie. Pour ne pas prolonger ce débat, je n'entrerai pas dans l'énumération des difficultés qu'on peut élever contre l'hypothèse des courants diluviens; ma tâche d'ailleurs serait difficile, parce que dans ces deux derniers mémoires l'auteur ne conclut pas. Jadis il admettait un seul courant[2] qui s'étendait du Spitzberg jusqu'en Allemagne; maintenant, je suppose qu'il doit admettre dix courants différents, successifs ou simultanés[3], coulant vers les quatre points cardinaux, suivant les directions moyennes de ses flèches. L'auteur ne s'étant pas expliqué, je préfère attendre qu'il nous déroule lui-même les conséquences de ses observations, et démontre comment un ou plusieurs courants diluviens rendent mieux compte des faits observés que la supposition de l'ancienne extension des glaciers scandinaves.

C. M. 4. *Réponse aux objections contre l'ancienne extension des glaciers dans les Alpes.* — **M. Durocher** termine son mémoire par un parallèle entre le phénomène erratique du nord et celui des Alpes, des Pyrénées et des Vosges. Il reconnaît l'analogie des effets produits; mais comme il ne tient pas compte de l'action puissante de la mer lors des immersions et des émersions du sol scandinave, il la

[1] *Poggendorff's Annalen*, t. XLIII, 1838.
[2] *Comptes rendus de l'Acad. des sciences*, t. XIV, p. 109, 17 janvier 1842.
[3] Voy. sa carte.

pousse, selon moi, beaucoup trop loin. *Dans les Alpes, les Pyrénées et les Vosges, les effets aqueux se bornent à ceux qui sont résultés de la fonte des glaciers et de l'action incessante des agents atmosphériques : en Scandinavie, il y a de plus les puissants effets de la mer, qui a recouvert à plusieurs reprises une portion considérable de la plaine suédoise.* Cette partie du mémoire renferme une foule d'observations, de détails déjà connus, et d'objections réfutées depuis longtemps. Ainsi par exemple, **M. Durocher** fait observer qu'au rétrécissement des vallées les stries sont ascendantes. Qu'il visite le glacier de l'Aar, et il pourra toucher, au bas du promontoire qui supporte le pavillon de **M. Agassiz**, des stries identiques, *redressées de 64 degrés d'amont* en aval; il retrouvera le même phénomène à 8 kilomètres du glacier, à l'étranglement inférieur de la petite vallée du Rœderichsboden, où les stries sont inclinées de 48 degrés sur un promontoire très-saillant de la rive gauche, et de 7 degrés seulement sur les parois verticales de la rive droite. Qu'il se rende sur le glacier de Grindelwald inférieur, au défilé de la Stieregg; *il trouvera les stries relevées de 45 degrés.* Partout, en un mot, où un obstacle s'oppose à la progression d'un glacier, il verra des *stries ascendantes gravées par la glace*, qui se redresse contre le rocher. C'est même un de ces phénomènes que l'eau ne saurait produire, car elle ne burine pas de stries rectilignes, mais creuse des canaux sinueux et ramifiés, des baignoires, des cavités conoïdes, des marmites de géants etc., et efface les stries glaciaires.

L'auteur se livre ensuite à des considérations météorologiques pour montrer que, même avec un climat analogue à celui des régions polaires, les glaciers des Alpes n'auraient pu s'étendre jusqu'au Jura. Pour le prouver, **M. Durocher** suppose que la température moyenne de ces régions est de — 15 degrés. C'est une erreur; la moyenne du Spitzberg, suivant **Scoresby**[1], n'est que de — 8 degrés, et ce chiffre est confirmé par les observations de **Franklin**, de **Parry** et de la Commission du Nord. Il affirme de plus que la température est pendant très-peu de temps au-dessus de zéro. Nouvelle erreur, car les moyennes des mois d'été sont les suivantes :

[1] *Account of the artic regions*, t. Ier, p. 358.

Juin	+ 0°,90
Juillet	+ 3°,51
Août.	+ 2°,88
moyenne. . .	+ 2°,43

Ainsi, pendant trois mois, le thermomètre se tient habituellement au-dessus de zéro. Le climat du Spitzberg n'est donc pas aussi froid que le suppose **M. Durocher**, et cependant toutes les vallées de la côte occidentale sont remplies par des glaciers qui s'avancent jusqu'à la mer. Si le Spitzberg avait la température moyenne de — 15 degrés, il n'y aurait par de glaciers dans cette île; car les deux conditions essentielles à la formation des glaciers sont : 1° d'abondantes chutes de neige; 2° des altitudes correspondantes aux niveaux des neiges temporaires.

Comme tous les auteurs qui n'ont pas fait une étude spéciale des glaciers actuels, **M. Durocher** se figure que leur ancienne extension suppose un climat très-rigoureux. Il n'en est pas ainsi : quelques calculs très-simples le prouvent avec la dernière évidence. La température moyenne[1] de la ville de Genève est de 9°,56; la ligne des neiges temporaires est à 2700 mètres au-dessus de la mer, et les grands glaciers de la vallée de Chamounix descendent, en moyenne, à 1550 mètres au-dessous de cette ligne. Supposons que la température moyenne de Genève s'abaisse de 2 degrés et devienne 7°,56 : la limite des neiges s'abaissera de 375 mètres, et ne sera plus qu'à 2325 mètres au-dessus de la mer. Or on accordera que les glaciers qui sont maintenant à 1150 mètres au-dessus de la mer descendront de la même quantité, et que leur pied ne sera plus qu'à 775 mètres au-dessus de la mer. Mais il ne faut pas oublier *qu'un glacier descend d'autant plus bas que le cirque dont il provient est plus vaste, plus élevé, et plus favorable à l'accumulation des neiges*[2]. Or les cirques où la neige s'entasse pendant l'hiver seraient considérablement agrandis par suite de l'abaissement de la température; les glaciers ne descendront donc pas à 775 mètres au-dessus de la mer

[1] Voy. *Météorologie de la France*, dans *Patria, ou la France ancienne et moderne*, p. 228.

[2] **Desor**, *Sur les rapports des glaciers avec les reliefs des Alpes* (*Comptes rendus de l'Acad. des sciences*, t. XX, p. 883, 24 mars 1845).

seulement, mais environ à 400, c'est-à-dire aux bords du lac Léman. Si l'on était tenté de nier l'influence incontestable des cirques sur l'extension des glaciers, je ferais voir qu'il suffirait que la température moyenne de Genève s'abaissât de 4 degrés, c'est-à-dire qu'elle devînt 5°,56[1], pour qu'avec le temps les glaciers du Mont-Blanc s'étendissent jusqu'au lac Léman. Cette extension est précisément celle qui a eu lieu à l'époque glaciaire[2].

L'abaissement de quelques degrés dans la température moyenne n'a rien d'impossible, et les géologues, qui n'hésitent pas à élever de 10 à 20 degrés les températures moyennes de certaines régions pour y expliquer la présence de végétaux ou d'animaux des régions tropicales, ne sauraient être plus sévères parce que ce changement se fait dans un autre sens, et que le climat se refroidit au lieu de s'échauffer. Cela ne me paraîtrait pas logique, et quoique la cause du refroidissement qui a déterminé l'ancienne extension des glaciers nous soit encore inconnue, le fait en lui-même est certainement une des hypothèses les moins hardies que la géologie se soit permises.

Le mémoire de **M. Durocher** se termine par cette concession remarquable : « Néanmoins il faut reconnaître à la théorie glaciaire un avantage incontestable, celui de faire intervenir des « agents qui produisent encore de nos jours, mais sur une échelle « beaucoup plus petite, des effets analogues à ceux qui ont eu lieu « anciennement, et c'est ce qui lui a conquis beaucoup de partisans « dans ces dernières années, tandis que dans la théorie diluvienne, « des causes que l'on suppose avoir été en jeu ne fonctionnent pas « aujourd'hui dans les mêmes conditions qu'autrefois, et, par « suite, ne produisent pas sous nos yeux des effets *tout à fait* semblables à ceux des phénomènes erratiques; aussi on n'a pas observé que l'eau des rivières produisît ces érosions en forme de « stries fines etc. etc. »

Cet aveu suffit aux partisans de l'ancienne extension des glaciers. Leur étude constante a été de faire voir que la plupart des phéno-

[1] Cette température moyenne est celle de Stockholm et de Christiania.

[2] D. A. Ces conclusions de l'influence des températures de l'air ambiant, du sol et des roches qui encadrent les glaciers actuels, et qui les encadraient lors de leur plus grande extension, doivent subir en 1862 une légère modification (voy. chap. *Glaciers en activité*)

nènes que l'on attribuait à des courants diluviens sont encore ournellement produits par les glaciers ; ils ont adopté la méthode que **M. Constant Prévost** a introduite en géologie : *expliquer les faits qui se sont passés antérieurement à l'époque historique par les agents naturels qui fonctionnent encore aujourd'hui.* »

CHARLES MARTINS, novembre 1846.

TRANSPORT

DE

CERTAINS BLOCS ERRATIQUES

DE LA SCANDINAVIE ET DE L'AMÉRIQUE DU NORD[1].

Introduction.

C. M. 1. Trois théories divisent les géologues au sujet du transport des blocs erratiques de la Scandinavie. Quelques savants croient encore qu'ils ont été *charriés par l'eau;* d'autres pensent qu'ils ont été *déposés par d'anciens glaciers* qui ont disparu depuis ; **M. Murchison** enfin a émis l'opinion que ces masses ont été transportées *par des glaces flottantes* détachées des glaciers du nord de la péninsule[2]. Mon but, dans ce mémoire, est de montrer que les glaces flottantes chargées de blocs erratiques se sont détachées de glaciers plus étendus que les glaciers actuels, et que ce mode de dispersion, dû à l'immersion et à l'émersion de la presqu'île scandinave, n'est qu'une conséquence de l'ancienne extension des glaciers.

Glaciers de la Suède et de la Norwége.

C. M. 2. Supposons en effet un instant, qu'à l'époque de la dispersion des blocs, les glaciers de la Suède et de la Norwége n'aient pas été plus étendus qu'ils le sont actuellement, et voyons quelles sont les conséquences de cette hypothèse.

Transport des blocs erratique sur des masses de glace détachées.

C. M. 3. Si l'on pense que les blocs erratiques ont été transportés sur des masses de glace détachées des glaciers actuels, il faudra nécessairement admettre que la Scandinavie était enfoncée sous les eaux de la mer, presque au niveau de ces glaciers; or, sous le 61e

[1] D. A. Extrait des *Archives des sciences naturelles de Genève*, août 1847. *Du transport de certains blocs erratiques de la Scandinavie et de l'Amérique du nord par des glaces flottantes, considéré comme conséquence de l'ancienne extension des glaciers de ces contrées*, par **Ch. Martins.**

[2] *The geology of Russia and the Ural mountains*, t. Ier, p. 528; et *Quarterly Journal of the geological Society of London*, t. II, p. 349, 1er avril 1846.

degré de latitude, les glaciers du Justedal descendent[1] jusqu'à 485 mètres au-dessus du niveau de la mer, ceux de Lodal et de Nygaard sont à 577 et 340 mètres au-dessus du même niveau[2], ceux de Sala et d'Almjalas, qui descendent de Sulitælma, s'arrêtent à 778 et 974 mètres au-dessus de la mer[3]; il aurait donc fallu que la Scandinavie s'enfonçât à 600 mètres environ au-dessous du niveau actuel de la mer, pour atteindre le pied de ceux de ses glaciers qui descendent le plus bas. Or nous avons des preuves qu'elle ne s'est jamais enfoncée à plus de 240 mètres au-dessous du niveau actuel, car la couche coquillière appelée *Skalenskigt*, qui règne tout le long des côtes de la Norwége, et qui nous indique le niveau le plus élevé que la mer ait atteint, ne dépasse pas 240 mètres[4]. Nous n'avons donc point de preuves que la Norwége se soit jamais enfoncée au-delà de cette hauteur, et que la mer ait atteint le pied des glaciers actuels. Si l'on objectait que cette immersion a eu lieu antérieure-à l'époque glaciaire, je répondrais avec **M. Daubrée**[5] que l'absence en Norwége de tous les terrains de sédiment compris entre l'époque de transition et les derniers dépôts tertiaires montre que ce pays était émergé pendant la période antérieure au commencement des dépôts les plus modernes.

Glaces flottantes.

C. M. 4. Si les glaces flottantes provenaient des glaciers actuels, elles ne pourraient charrier que des blocs détachés des sommets qui les dominent encore aujourd'hui; mais il est reconnu que les blocs erratiques scandinaves proviennent de contrées où il n'existe actuellement plus de glaciers. Il suffit, pour s'en convaincre, de jeter un coup d'œil sur la carte qui accompagne l'ouvrage de **MM. Murchison** et **de Verneuil** sur la Russie; on y voit, par exemple, que les blocs erratiques de la Pologne sont en partie ori-

[1] **L. von Buch**, *Ueber die Grenzen des ewigen Schnees im Norden* (*Gilberts Annalen der Physik*, t. XLI, p. 22, 1812).

[2] **Naumann**, *Einige Bemerkungen auf Ausflügen in die norwegischen Schneegefilde* (*Leonhards Taschenbuch*, t. XVII, p. 167 et 186, 1823).

[3] **Wahlenberg**, *Bericht über die Messungen und Beobachtungen zur Bestimmung der Höhe und Temperatur der lappländischen Alpen unter dem 67ten Breitegrade*, übersetzt von Hausmann, §§ 17 et 29.

[4] **Desor**, *Notice sur le phénomène erratique du nord comparé à celui des Alpes* (*Bullet. de la Société géolog. de France*, 2e série, t. IV, p. 199, 1846).

[5] *Bullet. de la Société géolog. de France*, t. XIV, p. 273, 1843.

ginaires des environs de Philippstadt, au nord du lac Wenern, contrée fort éloignée des glacies actuels. De son côté, **M. Durocher**[1] a fait remarquer que les matériaux déposés dans les parties méridionales de la Suède «proviennent des collines basses et mamelonnées de la Suède et de la Finlande, plutôt que des hautes régions.» Or, dans l'hypothèse de l'immersion de la Scandinavie pendant toute l'époque glaciaire, ces pays auraient été immergés à une grande profondeur, et ni les glaciers, ni les glaces flottantes, ni la glace de mer n'auraient pu en arracher des blocs gigantesques pour les transporter à de grandes distances. — L'origine des blocs erratiques nous prouve donc qu'ils n'ont pas été charriés par des glaces flottantes détachées des glaciers actuels.

Stries sur les roches.

C. M. 5. Si la Scandinavie avait été immergée au commencement de l'époque glaciaire jusqu'au niveau des glaciers actuels, comment pourrait-on expliquer alors les stries que nous voyons au bord de la mer, et même au-dessous de la mer[2] ? Quel est l'agent qui aurait pu graver des stries au fond de la mer, à 600 mètres de profondeur? Je n'en conçois aucun. On est donc insensiblement amené, pour se rendre compte des stries sous-marines, à supposer que la Norwège était à peu près à son niveau actuel. Mais alors les glaciers ne plongeaient pas dans la mer, tout le pays était émergé, et l'on est obligé de renoncer à expliquer le transport des blocs erratiques par des glaces flottantes détachées des glaciers actuels. La plupart des géologues qui ont étudié le phénomène erratique en Scandinavie ont compris cette difficulté ; aussi **M. Murchison**, qui a le plus insisté sur le rôle des glaces flottantes dans ce phénomène, a-t-il admis l'ancienne extension des glaciers du nord de la Scandinavie et de la Laponie, jusqu'au bord de la mer qui baignait les côtes de la presqu'île après l'époque pliocène[3]. Mais cette hypothèse est évidemment insuffisante pour expliquer le transport des blocs originaires du midi de la Suède. Du reste, le désaccord entre ce savant

[1] *Bullet. de la Société géolog. de France*, 2e série, t. II, p. 63, 2 novembre 1846.

[2] Dans les environs de Carlscrona on les a poursuivies jusqu'à 6 mètres au-dessous de la surface de la Baltique (*Nyt Magazin for Naturvidenskaberne*, t. IV, p. 312, 1845).

[3] *The geology of Russia etc.*, t. Ier, p. 528 et 554 ; et *Comptes rendus de l'Acad. des sciences*, t. XXIV, p. 838, 10 mai 1847.

et les partisans de l'ancienne extension des glaciers ne porte plus que sur l'étendue de cette extension.

Mais si **M. Murchison** est à peu près d'accord sur ce point avec les glacialistes, il se sépare d'eux en attribuant à des cailloux charriés par l'eau les stries et le poli des roches scandinaves. Or ces stries étant identiques au-dessous de la mer du Nord, sur les côtes de la Norwége, et à 1780 mètres au-dessus [1] il serait forcé d'admettre, pour être conséquent avec sa doctrine, que la Suède, à l'époque de la dispersion des blocs, était immergée jusqu'à 1780 mètres, hauteur jusqu'à laquelle **M. Siljestrœm** a vu des stries. Il en résulterait aussi qu'on ne doit trouver à l'état erratique que des blocs provenant de points élevés à plus de 1780 mètres, assertion démentie par tous les faits observés et par tous les voyageurs. On voit donc que l'hypothèse de **M. Murchison** suppose une immersion qui dépasse de plus de 1000 mètres le niveau inférieur des glaciers actuels, et de 1580 mètres le niveau supérieur de l'argile coquillière. — Dira-t-on que la Scandinavie s'est soulevée brusquement de façon à déterminer une vague immense, et à émerger rapidement tous les points situés depuis le bord de la mer actuelle jusqu'à 1780 mètres au-dessus, soulèvement qui expliquerait les surfaces arrondies et striées par les caillonx (*drift*) que charriait ce flot gigantesque [2]? Mais tout nous prouve que ce soulèvement a été lent et insensible, comme il l'est encore aujourd'hui. Les intervalles de repos complet sont marqués par des terrasses, ou lignes d'anciens rivages que la mer a longtemps battus, comme le prouve l'aspect des rochers creusés et érodés par l'eau. C'est même une des conséquences du travail de **M. Bravais** sur les lignes d'ancien niveau de la mer dans le Finmark, que **M. de Beaumont** a fait ressortir dans son rapport sur ce mémoire [3]. — Mais supposons un instant qu'il soit démontré que ce soulèvement a été brusque, et qu'il a produit la vague immense à laquelle on attribue le phénomène erratique en Scandinavie, il resterait encore à prouver que l'eau charriant des cailloux et des blocs peut tracer à la surface des

[1] **Siljestrœm**, *Voyages en Scandinavie, géographie physique*, t. Ier, p. 215.

[2] Voy. **Murchison**, *On the Scandinavian drift* (*Journal of the geological Society of London*, t. II, p. 363).

[3] *Comptes rendus de l'Acad. des sciences de Paris*, t. XV, p. 847, 1842.

rochers des stries rectilignes et sensiblement parallèles. L'observation nous apprend que l'eau n'a point ce pouvoir. Vainement on invoquerait les dimensions énormes qu'on prête aux courants diluviens. Il existe la même disproportion entre les glaciers actuels et les glaciers qui couvraient autrefois la Suisse et la Scandinavie. Cependant les glaciers actuels strient comme leurs aînés, et les débâcles, les torrents et les fleuves charriant des masses de cailloux doivent produire et produisent en petit les mêmes effets que les courants diluviens. Ils érodent les roches, ils les sillonnent de canaux sinueux, ramifiés, anastomosés, ils y creusent des marmites de géant; mais ils ne les nivellent pas, et n'y tracent pas des stries rectilignes parallèles, qui au rétrécissement des vallées se relèvent d'amont en aval, et forment avec la pente du thalweg des angles de 45 à 50 degrés. En outre, les cailloux roulés par les torrents sont arrondis, lisses, et *jamais striés;* ceux qui sont entraînés par les glaciers sont *usés*, *frottés*, *striés* et *rayés*.

La manière dont nous concevons, **M. Desor** et moi, le phénomène erratique en Scandinavie, me paraît expliquer la plupart des faits d'une manière satisfaisante. Les *rochers striés* se prolongeant sous la mer, la péninsule devait être au commencement de l'époque glacière plus émergée qu'elle ne l'est maintenant. Les glaciers s'étendirent au delà du rivage actuel, et atteignirent même le Danemark, comme le prouvent les belles roches polies des environs de Faxœ. Alors les rochers furent *arrondis*, *polis*, *striés*, et les *cailloux frottés* furent entraînés et déposés par les glaciers. Quelle était la limite de la nappe de glace à cette époque? C'est ce que personne ne saurait dire, puisque les traces qu'elle a laissées sont cachées en partie sous la mer. Pendant cette extension, la presqu'île s'est peu à peu enfoncée dans la mer; ce qui le prouve, c'est la couche argileuse à coquilles qui règne du cap nord jusque dans le sud de la Norwége, et recouvre partout les roches polies; ce sont les *serpules* qu'on a trouvées à Sorgenfry, près de Christiania, fixées sur des plaques striées à 60 mètres au-dessus de la mer.

C. M. 6. Les *œsars* se sont formés comme se forment les cordons littoraux, les *revler* du Jutland ou plutôt les hauts fonds. Leur formation a été d'autant plus rapide, que les *moraines* abandonnées par les glaciers étaient des matériaux tout prêts, que la mer dépla- Œsars.

çait et modelait à son gré. Les cailloux roulés, les coquilles marines ou littorales dont se composent les œsars, les débris de bateaux fort anciens qu'on y a découverts témoignent assez de leur origine sous-marine. Pendant cette période d'immersion et celle d'exhaussement qui l'a suivie, les glaces flottantes portant des blocs erratiques se détachèrent des glaciers qui descendaient jusqu'à la mer, vinrent échouer sur les hauts fonds, et y laissèrent les blocs erratiques dont ils étaient chargés, comme **M. Murchison** l'a très-bien expliqué. La côte continuant à s'élever, les hauts fonds littoraux ont été mis à secs ; ce sont les œsars actuels. On comprend maintenant pourquoi nous voyons dans les mêmes contrées les traces d'un ancien glacier, les blocs apportés par lui, et ceux qui ont été déposés sur les œsars par des glaces flottantes. Ce qui s'observe dans le sud de la péninsule, se voit dans le nord. Tout le long du fiord d'Alten, sous le 70e degré, on suit des traînées de blocs disposées horizontalement le long des lignes d'ancien niveau de la mer ; par exemple entre le comptoir de Bossekop et la maison du gouverneur du Finmark (*Vogedgaard*). Toute la contrée, en outre, est couverte de roches striées et moutonnées, comme celles qui avoisinent les glaciers de la Suisse.

C. M. 7. Aux États-Unis, près de Boston, où la côte présente aussi des traces incontestables de changements de niveau, **M. Desor** vient de retrouver les mêmes apparences. Des *surfaces polies* s'observent sur toutes les espèces de roches, le granit, la syénite, les schistes chlorités, des calcaires de transition et même des poudingues, comme le *nagelflue* des environs de Vevey en Suisse. On trouve aussi des demi-cylindres en relief si caractéristiques de l'action du glacier, signalés déjà dans la vallée de Chamounix et en Scandinavie[1]. Les *cailloux frottés et striés* sont extrêmement communs, mais ce sont plutôt de petits blocs que des cailloux comme en Suisse et dans les Vosges. Il existe aussi des *œsars* parfaitement caractérisés, à Milton, près de Boston. Ils sont connus des habitants sous le nom de *ridges*, et ont la même forme, le même sommet plat, les mêmes pentes, et la même composition que les œsars suédois. Comme en Suède, les routes toujours praticables occupent leur

[1] *Bulletin de la Société géologique de France*, 2e série, t. III, p. 109, 15 décembre 1845.

sommet, tandis que la plaine voisine est souvent inondée. A Milton, une coupe perpendiculaire au rivage présente successivement la la mer, une plaine diluvienne, l'œsar et une colline plus élevée de *granit poli et strié*, dont le sommet est entouré d'une ceinture de *blocs erratiques*, qui ne viennent pas de fort loin et paraissent avoir été déposés sur la colline par un radeau de glaces flottantes, à un niveau supérieur à celui de la plate-forme de l'œsar. Dans l'État du Maine, on trouve aussi des œsars que les habitants du pays désignent sous le nom de *horsebak* (dos de cheval); et **M. Lyell**, en décrivant les *ridges* du lac Ontario, a parfaitement reconnu leur analogie avec les œsars suédois[1].

Conclusions.

C. M. S. L'on n'a pas encore tenté d'expliquer le transport des blocs erratiques de la Suisse par des glaces flottantes. Si on l'essayait, on serait arrêté dès l'abord par de grandes difficultés, et conduit inévitablement à combiner ce transport avec la théorie de l'ancienne extension des glaciers. Imaginons, en effet, qu'on voulût se rendre compte par des glaces flottantes du transport des blocs erratiques originaires du Valais, qui couvrent la plaine suisse et les flancs du Jura, depuis Genève jusqu'à Arau; on serait amené peu à peu à reconstituer le glacier du Rhône tel que l'admettent **MM. Charpentier, Agassiz, Guyot** etc. En effet, les euphotites de Saas et les serpentines de Zermatt, si répandues à l'état erratique entre les Alpes et le Jura, prouvent que le glacier descendait jadis[2] au moins jusqu'au point où ces deux vallées débouchent dans le Valais. Les blocs d'arkesine de Steinhof, près de Berne, roche que **M. Guyot** a retrouvée en place dans la vallée d'Erin, montrent qu'il atteignait Sion. Les blocs de protogine du Mont-Blanc et les poudingues de Vallorsine témoignent qu'il dépassait Martigny. Le calcaire de la Dent de Morcles et les gypses de Bex prouvent qu'il a débouché dans la vallée du Léman; à partir de ce point, le glacier recouvrait toutes les basses montagnes de la Suisse; aussi les roches erratiques des formations de la plaine suisse sont-elles infiniment plus rares que celles des hautes montagnes.

Je ne nie point que les glaces flottantes n'aient pu jouer un rôle dans le transport des blocs erratiques à l'époque de la fonte et du

[1] *Travels in North America*, t. II, p. 102.

[2] D. A. A une certaine époque, qui n'est pas le maximum de leur ancienne extension.

retrait des glaciers. On voit aux environs de Reichenau, dans les Grisons, des œsars bien caractérisés sur lesquels se trouvent quelques blocs erratiques. On reconnaît dans la même vallée du Rhin et dans celle de Passeyr, en Tyrol, que des moraines ont été remaniées à leur partie supérieure par les eaux résultant de la fonte des grands glaciers[1]; mais il est facile de prouver que ces moraines ont été déposées directement par le glacier, et qu'elles ne sont pas uniquement formées par des matériaux transportés par les eaux ou par des glaces flottantes.

CHARLES MARTINS. — 1847.

[1] *Bullet. de la Société géolog. de France*, t. XIII, p. 345, 2 mai 1842; *ibid.*, 2e série, t. II, p. 123, 15 décembre 1845.

GLACIERS DU SPITZBERG[1].

Introduction.

C. M. 1. La côte occidentale du Spitzberg est découpée par un grand nombre de baies vastes et profondes, telles que Horn-Sound, Ice-Sound, les baies de la Croix, de Hambourg et de la Madeleine. Nulle part le rivage n'offre de plage unie; partout des montagnes coniques surgissent brusquement de la mer et s'élèvent à une hauteur qui varie moyennement entre 500 et 1200 mètres. Ces montagnes sont séparées par des vallées étroites dont la plupart s'ouvrent vers la mer. Toutes, sans exception, sont comblées par des glaciers qui communiquent avec ceux de l'intérieur du pays.

Les récits des voyageurs qui ont visité ces parages, tels que **Martens de Hambourg**, **Phipps**[2], **Scoresby**[3], **Parry**[4], **Latta**[5], **Keilhau**[6], sont d'accord sur ce point. Pendant les deux

[1] D. A. Extrait des *Voyages en Scandinavie, en Laponie, au Spitzberg et aux Feroë, pendant les années 1838, 1839 et 1840*, sur la corvette *la Recherche*, commandée par **M. Fabvre**, lieutenant de vaisseau; publiés par ordre du roi, sous la direction de **M. Paul Gaimard**, président de la Commission scientifique du Nord, par **MM. Ch. Martins, J. Vahl, L. L. Lœstadius, A. Bravais, J. Durocher, P. A. Siljestrœm, Ch. Bœck** et **E. Robert**; t. Ier, 1re partie. Paris, Arthur Bertrand, rue Hautefeuille, 23. Ces observations ont déjà été publiées partiellement dans la *Bibliothèque univ. de Genève*, juillet 1840; dans les *Annales des sciences géologiques*, octobre 1842, et dans le *Bulletin de la Société géologique de France*, t. XIV, p. 123. — *Glaciers du Spitzberg*, par **Ch. Martins.**

[2] *Plan of Fairhaven with the Island adjacent*, dans son voyage *towards the north pole*, 1773.

[3] *An account of the arctic regions*, 1820, t. Ier, p. 94.

[4] *An attempt to reach the north pole* (voy. la carte de la partie septentrionale du Spitzberg).

[5] *On the glaciers of Spitzbergen* (*Edinb. new philos. Journal*, no V, p. 95, juin 1827).

[6] *Reise i Œst-og West-Finmarken*, 1831, p. 135.

voyages de *la Recherche*, en 1838 et 1839, j'ai pu étudier les glaciers de Bell-Sound, de Magdalena-Bay et les Sept-Glaciers (*seven ice hills*), qui sont plus au nord que l'île du Prince-Charles. Leur aspect m'a vivement rappelé ceux de la Suisse et de la Savoie que j'avais visités dans quatre voyages successifs. Il m'a semblé que la comparaison des glaciers situés dans des pays si différents et sous les latitudes si éloignées ne serait pas sans intérêt pour les géologues et contribuerait à résoudre quelques-unes des questions que **M. Élie de Beaumont** nous avait proposées dans ses belles instructions [1].

Glacier de la Pointe-aux-Renards. — De Bell-Sound. — De l'Entrée. — De la Pointe-aux-Tombeaux. — Du fond de la baie.

A Bell-Sound, dans la baie de *la Recherche*, il y avait deux glaciers : l'un à l'ouest, plus petit, que nous appellerons *glacier de la pointe aux renards*; l'autre au sud, que nous désignerons sous le nom de *glacier principal* ou *grand glacier de Bell-Sound*. A Magdalena-Bay on remarque à droite en entrant, c'est-à-dire au sud, deux glaciers, celui de l'*Entrée* et celui de la *Pointe aux tombeaux*, puis le *glacier du fond de la baie* [2], sur lequel la plupart des observations ont été faites. Il y en avait encore deux autres, l'un au nord, l'autre au sud; mais ils étaient fort petits et ne descendaient pas jusqu'à la mer : il en sera rarement question.

Étendue des glaciers du Spitzberg.

C. M. 2. Suivant **Scoresby** [3] les deux plus grands glaciers de l'île sont celui du *cap sud* et un autre au nord de *Horn-Sound*. La partie qui borde la côte a onze milles de long [4]. Viennent ensuite les sept glaciers qui, en moyenne, peuvent avoir chacun deux milles, puisqu'ils s'étendent, sur une ligne nord et sud, de 79° 13′ à 79° 26′ de latitude [5] : de loin, leur forme est celle d'autant de triangles isocèles. En général leur longueur n'est pas proportionnée à leur largeur. D'après les mesures des officiers de *la Recherche*, le plus long de tous, le glacier principal de Bell-Sound, avait environ dix milles de long sur trois milles et un tiers de large ; celui de la Pointe aux renards, trois milles de long sur un mille et un quart de large; le *glacier du fond de Magdalena-Bay* avait une longueur de 1840

[1] *Voyage en Islande et au Grœnland*, histoire du voyage, t. Ier, p. 421.

[2] Voy. dans l'atlas de physique le plan du glacier du fond de la baie de la Magdeleine.

[3] *Loc. cit.*, t. Ier, p. 102.

[4] Ch. M. Un mille = 1852 mètres.

[5] *Ibid.*, *Appendice*, p. 74.

mètres sur 1580 mètres de largeur au bord de la mer; celui de la *Pointe aux tombeaux*, 1800 mètres de large; le *glacier de l'Entrée*, 1840 mètres de long sur 900 mètres de large; enfin le *plus petit de tous*, qui dominait le mouillage de la corvette, 240 mètres de large sur une longueur de 680 mètres.

Étendue des glaciers de la Suisse.

C. M. 3. Les grands glaciers de la Suisse ou de la Savoie sont au contraire beaucoup plus longs que larges. Celui *des Bois*, dans la vallée de Chamounix, a près de 20 kilomètres sans aucune interruption, sur une largeur qui n'excède jamais 4 kilomètres [1]. Suivant les mesures trigonométriques faites par **Hugi** [2], le grand *glacier d'Aletsch* a 28 kilomètres de long sur une largeur moyenne de 6 kilomètres, celui de l'*Ober-Aar*, 19 kilomètres sur 4, celui de l'*Unter-Aar*, 20 kilomètres sur 5. Cette différence entre les glaciers des deux pays s'explique facilement. Quoique ceux du *Spitzberg* descendent jusqu'à la mer, les montagnes auxquelles ils s'adossent sont proportionnellement très-basses. En Suisse les montagnes sont plus hautes et les vallées plus longues. Supposez que l'une ou l'autre de ces circonstances se réalisât au *Spitzberg*, vous auriez des glaciers ou mers de glace dont la longueur surpasserait de beaucoup celle des glaciers les plus étendus de la Suisse et de la Savoie, car ils descendraient jusqu'à la mer, tandis que les extrémités inférieures des glaciers les moins élevés de ces pays, ceux de *Grindelwald* [3], des *Bossons* [4], de la *Brenva* [5] et d'*Aletsch* [6], sont encore en moyenne à 1230 mètres au-dessus de son niveau.

Altitude des glaciers.

C. M. 4. La hauteur des glaciers inférieurs au-dessus de la mer dépend de deux causes principales: la position géographique et l'élévation des montagnes dont ils proviennent. En voici la preuve. Dans la Norwége, sous le 61e degré de la latitude, les *glaciers du Justedal* s'élèvent à 1850 mètres et descendent à 485 mètres [7]. Les

[1] **De Saussure**, *Voyages dans les Alpes*, S. 522.

[2] *Naturhistorische Alpenreisen*, voy. la carte de cet ouvrage.

[3] Glacier inférieur, 1039 mètres; glacier supérieur, 1299 mètres (Hugi).

[4] 1115 mètres, mesure barométrique de l'auteur.

[5] 1347 mètres. **Escher von der Linth**, dans **A. De Candolle** : *Hypsométrie des environs de Genève*, p. 31.

[6] 1349 mètres. **Hugi**, *loc. cit.*, t. III.

[7] **L. von Buch**, *Ueber die Grenzen des ewigen Schnees im Norden* (*Gilberts Annalen der Physik*, t. XLI, p. 22, 1812).

extrémités inférieures de ceux de *Lodal* et de *Nugnard* sont à 577 et à 340 mètres sur la mer[1]. Dans le même pays, sous le 67e degré de latitude, les glaciers de *Sala* et d'*Almjalos* descendent d'une crête du *Sulitelma*, qui est élevée de 1494 mètres, et leur point le plus déclive est encore à 778 et 974 mètres au-dessus de la mer du Nord[2]. On voit que la différence de 6 degrés en latitude est plus que compensée par la plus grande élévation des montagnes du Justudal comparée à celle du Sulitelma. Même sous le 70e degré parallèle, le glacier du *Jœkulsfiord*, dans le Finmark, ne descend pas jusqu'à la mer. En *Islande*, par 64 degrés de latitude, sous la double influence d'un climat plus rigoureux à latitude égale et de montagnes plus élevées, les glaciers atteignent le bord de l'Océan. Toutefois ils ne s'avancent pas sur lui, car il existe toujours une plage libre qui permet de cheminer entre le glacier et les flots.

Glaciers inférieurs et glaciers supérieurs de la Suisse.

C. M. 5. Nous ne saurions poursuivre ce parallèle entre les glaciers du Spitzberg et ceux de la Suisse sans faire d'abord une distinction importante. Au Spitzberg, ou du moins au nord de cette île, la ligne des neiges persistantes est au bord de la mer; par conséquent ses glaciers ne sont rigoureusement comparables qu'à cette partie des glaciers de la Suisse qui se trouve au-dessus de la limite des neiges persistantes. Ces glaciers supérieurs sont fort différents de ceux qui descendent dans les vallées habitées : **de Saussure**, **Charpentier**, mais surtout **Agassiz** les ont parfaitement décrits et différenciés. Les Allemands les nomment *Firne:* nous les appellerons *glaciers supérieurs* ou *névés*. Sous le nom de *glaciers inférieurs* (*Gletscher*) nous comprendrons la partie la plus déclive des glaciers, à partir de la limite inférieure des mers de glace. Enfin nous appellerons *glaciers*, tout court, l'ensemble des névés (*Firne*) et des glaciers inférieurs (*Gletscher*) considérés collectivement. Les glaciers du Spitzberg n'étant que des mers de glace, comme nous le verrons plus loin, nous leur appliquerons indifféremment l'une ou l'autre de ces deux dénominations.

[1] **Naumann**, *Einige Bemerkungen auf Ausflügen in die norwegischen Schneegefilde* (*Leonhard's Taschenbuch*, t. XVII, p. 167 et 186, 1823).

[2] **Wahlenberg**, *Bericht über Messungen und Beobachtungen zur Bestimmung der Höhe und Temperatur der lappländischen Alpen unter dem 67ten Breitegrad*, übersetzt von Haussmann, 1812, §§ 17 et 29.

a limite inférieure des névés de la Suisse a été fixée par **Hugi**[1] 70 mètres. Elle coïncide à peu près avec la ligne des neiges istantes; mais suivant cet autenr elle est plus constante, car auteur est la même sur les deux versants des Alpes, et ne varie suivant les années. Leur limite supérieure est à 3200 ou 3600 res au-dessus de la mer, dans le groupe de l'Oberland.

. M. 5. La pente des glaciers du Spitzberg est assez faible. En t, les montagnes auxquelles ils s'adossent ne sont pas hautes, en outre, elles sont tellement escarpées que le glacier ne peut ever qu'aux deux tiers environ de leur hauteur totale. Il en résulte la différence de niveau entre la partie la plus déclive et la plus ée de ces champs de glace n'est pas à beaucoup près aussi con- rable que dans les Alpes. D'après **Scoresby**[2], la différence de au entre le sommet et le pied du grand *glacier de Horn-Sound* de 400 mètres seulement. J'estime à 350 mètres celle du glacier fond de *Magdalena-Bay*, ce qui réduit sa pente à 10 degrés en- n. Suivant **Latta**[3], celle des *sept glaciers* est de 10 à 20 degrés; lacier principal de *Bell-Sound* était presque horizontal à cause a grande longueur.

Pentes et hauteurs verticales des glaciers du Spitzberg.

Grand glacier de Horn-Sound — Glacier de Magdalena-Bay. — Sept-Glaciers. — Glacier de Bell-Sound.

es trois glaciers du *Beerenberg*, dans l'île de Jean Mayen, . 70° 49') n'ont que 390 mètres de hauteur verticale au-dessus la mer; **Scoresby** s'en est assuré par une mesure trigonomé- ue[4].

Glaciers du Beerenberg.

. M. 6. En Suisse et en Savoie, au contraire, l'inclinaison des tes surpasse souvent 30 ou 40 degrés, suivant **de Saussure**[5], la différence de niveau entre le sommet et la base des glaciers ie entre 1590 et 2000 mètres. Je me contenterai de citer deux mples qui peuvent donner une idée des limites extrêmes. En exa- nant le *Mont-Blanc* du haut du Cramont, **de Saussure**[6] crut uvoir affirmer que son sommet n'est pas couvert de glaces. Il vint sur cette opinion dans son ascension sur cette montagne et

Suisse et Savoie.

[1] *Loc. cit.*, p. 334 à 337.
[2] *Loc. cit.*, t. Ier, p. 102.
[3] *Loc. cit.*, p. 95.
[4] *Narrative of an excursion upon the Island of Jan Mayen* (*Edinb. philos. Journal*, er, p. 121, 1819).
[5] *Loc. cit.*, § 524.
[6] *Loc. cit.*, § 914.

sur le Brévent[1] : ainsi, l'on peut admettre que les glaciers qui entourent le Mont-Blanc, et principalement le *glacier des Bossons*, descendent de son sommet, ce qui donne à ce dernier une hauteur verticale de 3795 mètres. D'un autre côté, suivant les indications de **Hugi**, le glacier de *Lœtsch*, en Valais, n'aurait que 1605 mètres de hauteur verticale. En mesurant celle des glaciers qui descendent de montagnes peu élevées, on trouverait certainement des différences de niveau encore moins considérables.

Glaciers des Bossons. Glacier de Lötsch.

Si nous cherchons avec **Hugi** celle qui existe entre le sommet et la base des *névés* (*Firn*), nous trouvons qu'elle est de 940 mètres dans l'Oberland. *Sur le col du Mont-Cervin*, je l'ai trouvée de 1054 mètres, en supposant que la mer de glace qui recouvre le col descende du petit Mont-Cervin ; car sa limite inférieure est à 519 mètres au-dessous du point culminant de ce col[2].

Col du Mont-Cervin (passage du Saint-Théodule).

C. M. 8. La surface des glaciers du Spitzberg ne présente pas ces aiguilles, ces pyramides qui font la beauté des glaciers inférieurs de la Suisse. Leur superficie est ordinairement unie ou légèrement ondulée comme celle des mers de glace de l'Oberland et de la Savoie. Il serait cependant possible que quelques-uns d'entre eux fussent hérissés d'aiguilles, soit par suite de la forte inclinaison de la pente[3], soit par suite de plusieurs étés exceptionnellement chauds. On sait, en effet, que ces deux causes réunies ou séparées contribuent à la formation des aiguilles. Ainsi, le *glacier du Talèfre*, dont la pente est très-rapide, offre de très-belles aiguilles, quoiqu'il soit élevé de 2600 mètres sur la mer[4]. Ceux *des Bossons*, *des Bois* et de *Grindelwald*, qui réunissent les deux conditions mentionnées ci-dessus, sont aussi ceux dont les aiguilles sont les plus hautes et les plus pittoresques.

Forme des glaciers du Spitzberg.

Glacier de Talefre. —Glacier des Bossons. — Glacier des Bois. — Glacier de Grindelwald.

A *Magdalena-Bay* la surface des glaciers était unie comme celle de tous les autres qui ont été vus par **Scoresby**, **Latta** et **Keilhau** ; mais à *Bell-Sound* le glacier du fond de la baie présentait quelques pyramides des deux côtés de son extrémité inférieure, là

Glacier de Magdalena-Bay. — Glacier de Bell-Sound.

[1] *Loc. cit.*, § 1981, la note, et § 654.

[2] Hauteur du petit Mont-Cervin, appelé *Breithorn* par **de Saussure**, 3900 mètres (S. 2247). Fin de la mer de glace au nord, au-dessus de Zermatt, 2846 mètres au-dessus de la mer (observations barométriques de l'auteur).

[3] **De Saussure**, *loc. cit.*, §. 632.

[4] *Ibid.*, S. 662.

la réverbération du soleil sur les montagnes voisines avait dû voriser la fonte des glaces. Cette particularité n'étonnera personne, l'on réfléchit que ce glacier est situé à l'extrémité d'une baie ofonde et bien abritée, dont le climat est assez doux, comparavement à celui des parties de la côte qui sont exposées à toute la olence des vents de la mer.

C. M. 9. Pendant notre séjour à Bell-Sound, du 25 juillet au août 1838, le thermomètre s'éleva à + 8°,2 C., et ne descendit mais au-dessous de + 0°,3; en moyenne il se tint à + 3°,8. A *agdalena-Bay*, au contraire, où nous restâmes du 1er au 12 août 39, il ne monta qu'une fois à + 5°,7, et descendit plusieurs fois zéro. La moyenne générale fut + 2°,97. Si l'on m'objectait que s deux étés peuvent avoir été tout à fait exceptionnels, je répondrais que la végétation est le meilleur indice de la différence de imat pour deux points rapprochés et situés, comme Bell-Sound Magdalena-Bay, au bord de la même mer et sous le même méridien.

Température de l'air ambiant à Bell-Sound et à Magdalena-Bay.

C. M. 10. A Bell-Sound j'ai trouvé 57 plantes phanérogames, à agdalena-Bay, 23, et dans ce nombre une seulement qui n'existait s à *Bell-Sound:* la différence des deux climats est donc un fait ncontestable.

Végétation à Bell-Sound et à Magdalena-Bay.

Voici la liste des plantes phanérogames que nous avons trouvées à Bell-Sound : **s plantes en italique existaient aussi à Magdalena-Bay**, *Ranunculus sulreus* (*Sol.*); R. nivalis (*L.*); *R. pygmæus* (*Wahl.*); *Papaver nudicaule* (*L.*); Draba gida (*DC.*); D. alpina (*L.*); *D. muricella* (*Wahl.*); D. arctica (*Vahl f.*); *D. oblongata* . *B.*); D. lapponica (*DC.*); D. fladnizensis (*Wulf.*); Cochlearia officinalis (*L.*); *C. daica* (*L.*); *Cardamine bellidifolia* (*L.*); C. pratensis (*L.*); Platypetalum purpurascens . *B.*); Eutrema Edwardsii (*R. B.*); *Silene acaulis* (*L.*); Lychnis apetala (*L.*); Spergula ginoides (*L.*); *Stellaria Edwarsii* (*R. B.*); Arenaria rubella (*Hook.*); A. scandinavica Spr.); A. ciliata (*Wahl.*); *Cerastium alpinum* (*L.*); Dryas octopetala (*L.*); Potentilla ulchella (*R. B.*); *P. emarginata* (*Pursh*); Saxifraga aizoides (*L.*); S. flagellaris (*Sternb.*); cespitosa (*L.*); S. hieraciifolia (*Willd.*); *S. stellaris* β *comosa* (*Hartm.*); *S. cernua* (*L.*); hirculus (*L.*); *S. oppositifolia* (*L.*); *S. rivularis* (*L.*); *S. nivalis* (*L.*); Chrysosplenium lternifolium (*L.*); Erigeron alpinus β uniflorus (*Less.*); Phytamocarpum taraxacoides *Vahl f.*); Empetrum nigrum (*L.*); Pedicularis hirsuta (*L.*); *Oxyria reniformis* (*Hook.*); *olygonum viviparum* (*L.*); Salix reticulata (*L.*); *S. polaris* (*Wahl.*); Juncus biglumis *L.*); *Luzula arcuata* (*Wahl.*); Carex heleonastes (*Ehrh.*); *Phippsia algida* (*R. B.*); Alopecurus ovatus β muticus (*Sommerf.*); Festuca ovina (*L.*); F. rubra β arenaria (*Wahl.*); *oa alpina* (*L.*); Dupontia Fischeri (R. B.); Trisetum subspicatum (*Pal. Beauv.*). A Magalena-Bay, seulement : Poa laxa.

Glaciers à pyramide. — Glaciers de Sulitelma. — Glacier Svinafells-Jökull. — Glacier Hölaar-Jökull.

C. M. 11. On trouve, au reste, des glaciers à pyramides sous des latitudes très-élevées. En Norwége, par 67 degrés latitude, les *glaciers du Sulitelma* en sont hérissés dans tous les endroits dont la pente est rapide[1]. En *Islande*, sous le 64e degré, le *Svinafells Jökull*[2] et le *Hölaar Jökull*[3] sont remarquables par leur beauté.

Glaciers inférieurs de la Suisse.

C. M. 12. Les glaciers inférieurs de la Suisse sont *convexes*, c'est-à-dire plus élevés à leur partie médiane que sur les côtés; cette disposition m'a paru à peu près constante. Elle tient à ce que la surface supérieure du glacier fond davantage sur les parties latérales, qui sont plus exposées à la réverbération de toutes les hauteurs avoisinantes. **Hugi**[4] fait observer avec raison que cette convexité constitue un caractère essentiel, qui distingue les glaciers inférieurs des glaciers supérieurs; ces derniers sont presque toujours terminés par une surface plane comme les *névés* du col Saint-Théodule, et même concave comme celle de Roththal, dont les bords étaient élevés de 20 mètres au-dessus de la partie médiane[5].

Glaciers supérieurs de la Suisse.

Glaciers du Spitzberg.

C. M. 13. Au Spitzberg il en est de même : la surface du glacier est le plus souvent plane ou légèrement concave[6]. Les *glaciers de Bell-Sound* étaient sensiblement plans; ceux de *Magdalena-Bay* offraient les trois types. Le glacier de la *Pointe aux tombeaux* était un peu *concave;* celui du fond sensiblement *plan*, surtout dans sa partie supérieure. Enfin, il y en avait deux petits qui n'atteignaient pas le bord de la mer, parce que la côté était accore, et que les glaces tombaient en se brisant, comme celles du *glacier de Gétroz*, en Valais, à mesure qu'en s'avançant elles venaient à surplomber ce mur vertical.—Un de ces deux glaciers[7] dominait la corvette, et j'ai pu l'examiner à loisir. Large de 240 mètres seulement, resserré entre deux rochers de couleur noire, il avait fondu sur ses côtés, ce qui l'avait rendu très-convexe. Il se composait de couches superposées, qui paraissaient être plutôt de la neige durcie que de la vé-

[1] **Wahlenberg**, *loc. cit.*, § 13, pl. II et IV.
[2] *Voyage en Islande et au Grœnland*, atlas historique.
[3] *Ibid.*, p. 84.
[4] *Loc. cit.*, p. 177.
[5] *Loc. cit.*, p. 59.
[6] **Scoresby**, *loc. cit.*, t. Ier, p. 103. **Kellhau**, *loc. cit.*, p. 135.
[7] Voy. le plan du grand glacier au fond de la baie de la Madeleine, *a* (atlas de physique).

ible glace. Peut-être est-ce à cette forme même que l'on doit ribuer l'imparfaite conversion de la neige en glace. L'eau des ies et de la neige fondue, coulant sur cette surface bombée mme sur un toit, n'a jamais pu pénétrer cette masse compacte de ige tassée par son propre poids.

Les glaciers du Spitzberg se moulent sur le sol comme ceux des Alpes.

Lorsque les pentes sur lesquelles reposent les glaciers du nord nt très-inégales, ils se *moulent* sur elles comme ceux des Alpes, si que **Scoresby** l'a constaté sur le *glacier de l'île Jan Mayen*, i ressemblait, dit-il, à une immense cataracte gelée, de laquelle rtaient çà et là des pointes de rochers qui complétaient l'illusion [1].

Ruisseaux sur la surface des glaciers du Spitzberg.

Les *glaciers du Spitzberg* fondent un peu à leur surface supérieure, rsque le temps est doux et l'air humide : c'est néanmoins surtout a fonte des neiges accumulées sur eux qu'on doit attribuer l'orie des *ruisseaux* qui les parcourent quelquefois. Il n'est pas rare voir de petites *cascades* s'échapper de leur partie supérieure. A gdalena-Bay, il y en eut une qui, pendant quelques jours, tomit des flancs du glacier de la Pointe aux tombeaux. Celui de Bellund était sillonné par de petits filets d'eau. **Phipps**, dans une s vues qui ornent son ouvrage, a représenté un des glaciers de neerenberg. Du tiers inférieur de sa hauteur verticale s'échappe e cascade qui tombe dans la mer. **Scoresby, Latta** ont vu les pt glaciers parcourus par de petits ruisseaux, dont quelques-uns ulaient dans les crevasses et ne se trahissaient que par le murure de leurs eaux. La surface du glacier terminal de Magdalenay était tout à fait sèche; il n'y avait pas d'eau, même au fond s crevasses.

Crevasses des glaciers du Spitzberg.

C. M. 14. En général, ces glaciers sont couverts de neige pennt toute l'année. **Keilhau** [2] l'a vérifié pour ceux du sud, et la eige ne fond pas davantage sur ceux du nord. Cependant à Bellound, le grand glacier était parsemé au moment de notre déart [3] d'un grand nombre de *petites flaques d'eau*. Cette couche de eige dérobe à l'observateur la vue des crevasses qu'elle recouvre nt qu'elles ne sont pas très-larges. A Magdalena-Bay je montais ur le grand glacier du fond afin de les mieux étudier. Comme

[1] *Edinb. philos. Journ.*, t. Ier, p. 121, 1819.
[2] *Loc. cit.*, p. 135.
[3] 4 août 1838.

celles des glaciers alpins, elles étaient toutes *transversales*, par conséquent parallèles à la mer, et d'autant plus béantes qu'elles en étaient plus rapprochées. A la surface du glacier elles atteignaient quelquefois une largeur de 5 à 10 mètres; leur profondeur était de 15 à 20 mètres. Les deux faces se trouvaient presque en contact dans le fond, qui était jonché de fragments énormes de glace et de neige durcie. De longues *stalactites* pendaient aux parois de ces crevasses. Tantôt elles simulaient un grand jeu d'orgue, tantôt elles étaient isolées et rappelaient les clefs pendantes des cathédrales gothiques.

Jamais je n'ai pu voir, au fond d'une crevasse, la roche sur laquelle repose le glacier. Dans son ascension au Mont-Blanc, **de Saussure** n'a pas été plus heureux [1]. Il est toutefois probable que ces fentes traversent souvent le glacier dans toute son épaisseur, au Spitzberg aussi bien qu'en Suisse [2]. L'aventure de l'*auberg*iste de Grindelwald*, qui tomba dans une crevasse et ressortit sur les bords du glacier en remontant le cours d'un ruisseau qui se frayait un chemin sous la glace, est un fait connu de tous les voyageurs qui ont parcouru l'Oberland [3]. On peut se rendre raison de formation des crevasses par les contractions et les dilatations alternatives de ces masses qui, pendant les longs hivers du Spitzberg, sont exposées à un froid de — 40° C., suivant toutes les probabilités, et qui, pendant l'été, se trouvent environnées d'une atmosphère dont la température est presque toujours supérieure à zéro. Alors la surface se réchauffe plus que les parties sous-jacentes, les places couvertes de neige moins que celles qui en sont dépourvues : de là les dilatations inégales suivies de solutions de continuité dans la masse. — **Hugi** a vu plusieurs fois ces crevasses se former sous ses yeux.

Formation de crevasses prise sur le fait au glacier de l'Unter-Aar.

Il donne sur un de ses faits les détails suivants : « Je me promenais un jour, dit-il, sur le *glacier de l'Unteraar*, vers trois heures « de l'après-midi. La chaleur était très-forte; tout à coup j'entendis « un bruit particulier. J'avais à peine couru trente ou quarante pas « dans la direction du son, lorsque je sentis le glacier trembler

[1] *Loc. cit.*, § 1973.

[2] Voy. **Hugi**, *loc. cit.*, p. 358 et 331.

[3] **Ebel**, *Manuel du voyageur en Suisse*, t. II, p. 580.

« sous mes pieds à plusieurs reprises ; en même temps je vis qu'il « se fendait. La fente s'avançait souvent de 10 à 20 pieds (3 à 6 « mètres) dans un instant; je pouvais à peine la suivre. Par mo- « ments elle semblait vouloir s'arrêter; ou bien sa progression « était fort lente ; puis la masse entière paraissait frémir, et la fente « courait plus loin. Plusieurs fois je la devançais pour pouvoir me « coucher sur le glacier à l'endroit où elle devait passer. Une fois « je fus violemment ébranlé et la glace se fendit sous moi. Je suivis « ainsi la crevasse pendant un quart d'heure jusqu'à une moraine « centrale où elle s'arrêta. Sa largeur était d'un pouce et demi « (40 millimètres) ; la surface intérieure, rude, inégale, laissait « voir des cristaux de glace en partie rompus, en partie désagrégés ; « sa profondeur ne dépassait pas 4 à 5 pieds (1m,30 à 1m,60). Quel- « ques jours après je visitais de nouveau le glacier ; la fente avait « 6 pouces (0m,19) de large et sa profondeur était considérable. « Une nouvelle fente parallèle à la première et profonde de 6 pieds « (2 mètres) s'était formée pendant mon absence[1]. »

Nature de la glace des glaciers du Spitzberg.

C. M. 15. *Nature de la glace.* — La glace dont se composent les glaciers du Spitzberg rappelle en tous points celle des glaciers supérieurs des Alpes. A la surface elle est *rugueuse, inégale, jamais glissante.* Les crevasses sont souvent teintes du plus beau bleu d'azur, de même que les cavités des glaces flottantes qui en proviennent. Celles-ci paraissent quelquefois striées. En les examinant de près, on reconnaît que cet aspect est dû à une multitude de petites bulles d'air allongées et piriformes. Dans d'autres glaçons ces bulles sont arrondies. **De Saussure**[2] et **Scoresby**[3] ont fait des observations analogues. Cette glace n'est point formée par la réunion de cristaux ou de fragments intimement unis comme celle des glaciers de la Suisse. **MM. Hugi**[4] et **Kemtz**[5], qui les ont très-bien décrits, insistent tous deux sur cette particularité que ces cristaux diminuent de grosseur à mesure qu'on remonte le glacier. Ils disparaissent tout à fait dans la région des mers de glace. Il ne faut donc point s'étonner s'ils n'existent pas dans la glace du Spitz-

Les cristaux de glace des glaciers diminuent de grosseur à mesure qu'on remonte le glacier dans les Alpes.

[1] **Hugi**, *loc. cit.*, p. 351.
[2] *Loc. cit.*, § 525.
[3] *Loc. cit.*, t. I, p. 341.
[4] *Ibid.*
[5] *Lehrbuch der Meteorologie*, t. II, p. 160. 1832.

Formations cristallines singulières.

berg. Toutefois j'ai observé à Bell-Sound et à Magdalena-Bay des *formations cristallines très-singulières*. A Bell-Sound c'était sur les bords d'une petite rivière; à Magdalena-Bay, près d'un faible ruisseau, entre le glacier de la Pointe aux tombeaux et la mer. Ces deux endroits étaient parfaitement plans et recouverts d'une couche peu épaisse de glace et de neige. Çà et là on rencontrait certaines places de plusieurs mètres carrés, en général un peu bombées, et qui étaient entièrement pavées par des prismes placés verticalement les uns à côté des autres. Leur longueur variait entre 14 et 30 centimètres. La plupart avaient 1 à 2 décimètres. Leur diamètre était de 1 à 2, rarement de 3 centimètres. Leurs surfaces supérieures étaient parfaitement de niveau. Presque tous se rapprochaient, par la forme, de celle d'un prisme à base carrée ou hexagonale; mais leurs faces et leurs arêtes étaient inégales et mal accusées. Étant simplement juxtaposés, quoique très-serrés les uns contre les autres, ils tombaient d'eux-mêmes dès que la brèche était faite. Ces prismes ne reposaient pas sur la terre, mais étaient implantés dans la masse de glace dont nous avons parlé. A Bell-Sound, mon ami **M. Bravais** a observé deux étages de semblables cristaux superposés l'un sur l'autre et séparés par un plan de glace; l'étage inférieur, moins régulier, se composait d'aiguilles plus confuses[1]. La glace de ces prismes était légère et remplie de bulles d'air; sa couleur souvent azurée. Ces réunions de cristaux de glace se trouvaient dans les plaines parfaitement horizontales, où l'eau séjourne et imbibe lentement la neige qui recouvre le sol. Leur formation peut s'expliquer (en la comparant à celle des sels cristallisés qu'on laisse séjourner longtemps dans leurs eaux mères) par la juxtaposition successive de nouvelles particules de glace chaque fois que la neige fondue passe à l'état solide, ou plus simplement par des effets de retrait analogues à ceux auxquels les basaltes doivent leurs formes régulières. Les cristaux de glace qui entrent dans la composition des parties les plus déclives des glaciers helvétiques, atteignent souvent la grosseur d'une noix sur une longueur de 54 millimètres[2]. **M. Kæmtz** explique leur origine de la même manière[3].

[1] Le colonel **Jackson** a observé des cristaux semblables sur la Neva (Voy. *Journal of the royal geographical Society*, vol. V, p. 19. 1835.

[2] **Hugi**, *loc. cit.*, p. 341.

[3] *Vorlesungen über Meteorologie*, p. 261. 1840.

Moraines et blocs erratiques.

C. M. 16. Les glaciers du Spitzberg sont dominés par des mon-
;nes presque verticales, dont les sommets se composent de blocs
i ne sont point intimement unis entre eux, parce que l'eau pro-
nant de la fonte des neiges les a séparés au moment de sa con-
lation. Aussi leurs flancs sont-ils couverts d'un nombre immense
: débris.

Entre l'extrémité inférieure du glacier et la montagne il existe
uvent un intervalle, un petit vallon, au fond duquel coule un
ible ruisseau. Le grand glacier de Bell-Sound était séparé de cha-
une des chaînes latérales qui l'enclavaient, par un des vallons. Au
ord du glacier terminal de Magdalena-Bay, un ruisseau coulait
ntre la moraine et la montagne. Ceux de l'Entrée et de la Pointe
ux tombeaux s'appuyaient des deux côtés sur les montagnes envi-
onnantes, excepté par leur extrémité inférieure, qui les débordait
n peu.

Les voyageurs qui nous ont précédés n'ont pas porté leur atten-
ion sur les blocs de pierre qui peuvent se trouver à la surface des
laciers. Voici ce que j'ai observé à cet égard.

Le glacier principal de Bell-Sound était seulement *souillé de terre*
ur ses parties latérales. Ceux de Magdalena-Bay étaient tous les
leux couverts de pierres à leur extrémité inférieure. Ces pierres
ccupaient environ la huitième partie de la largeur du glacier ter-
minal; mais il n'y en avait pas au *milieu*, ni sur celui-ci ni sur au-
:un autre. Non-seulement on observe des blocs à leur surface su-
érieure, mais on les trouve encore enchâssés dans la glace[1]. J'en
i compté un assez grand nombre sur toute la hauteur des murs la-
éraux des deux glaciers principaux de Magdalena-Bay, mais jamais
e n'ai pu en découvrir sur la face qui regarde la mer. Je ne puis
pas croire qu'il en existe, car j'ai passé des heures entières devant

On ne trouve pas de blocs enchâssés dans la glace à la pente terminale.

[1] D. A. Au glacier inférieur de l'Aar, à la pente terminale, nous voyons beaucoup de blocs et galets ou sable enchâssés, enfermés, emprisonnés dans la glace à différentes hauteurs, qui, par l'ablation, la fonte, la diminution de surface de la glace, sont dégagés, glissent sur la pente et roulent au bas du talus, comme leurs confrères qui se trouvent sur le dos du glacier et qui manquent de base par ablation. Le glacier de l'Aar ne fait pas exception : tous les glaciers à long parcours, chargés de matériaux et crevassés, offrent des spécimens semblables. Ces matériaux, placés primitivement sur la surface du glacier, sont tombés accidentellement dans des crevasses profondes; ces crevasses se sont refermées, et l'ablation n'a pas été assez forte pendant la marche du glacier pour les mettre à jour.

les glaciers des deux baies que nous avons visitées, pour des expériences de températures sous-marines. J'ai pu voir ainsi un grand nombre de coupes comprenant toute l'épaisseur du glacier, à mesure que celui-ci s'écroulait dans la mer. Afin de m'assurer du fait, j'ai longé en canot le glacier de Magdalena-Bay, je suis entré dans les petites criques formées par l'éboulement des glaces, et nulle part je n'ai vu de blocs ni même de sable dans l'épaisseur de la glace : partout elle était parfaitement pure et transparente. Avant de passer à l'explication de ces faits, examinons d'abord comparativement comment les blocs erratiques se comportent sur les glaciers de la Suisse.

Tous les géologues sont d'accord pour affiirmer qu'on ne voit point de blocs à la surface des glaciers supérieurs (*Firne*). Sans doute, le hasard peut y faire apercevoir quelques blocs isolés qui viennent de rouler des hauteurs voisines ; mais jamais la surface entière ne disparaît sous une couche de pierres et de sable, comme on le voit sur les glaciers inférieurs. La raison en est facile à comprendre. Quand un bloc tombe sur un des glaciers supérieurs, il s'enfonce dans la neige ; comme celle-ci ne fond jamais entièrement, mais se convertit en glace et se recouvre de couches successives de neige nouvelle, il en résulte que le bloc est bientôt enterré dans la glace. Mais le glacier ayant un mouvement de progression continu, descend incessamment dans la plaine ; et tandis qu'il marche sur une pente plus ou moins inclinée, le bloc marche horizontalement, et se trouve bientôt à la surface du glacier. Telle est du moins l'explication donnée par **M. T. de Charpentier**[1]. De là l'existence d'un grand nombre de moraines centrales (moraines médianes, *Gufferlinien*) qui sont la réunion des moraines terminales de plusieurs glaciers convergents en un seul, et qui rejettent à leur surface les blocs qu'ils transportaient dans leur sein.

Mais, dira-t-on, personne en Suisse n'a jamais vu ces blocs de pierre enchâssés dans l'épaisseur des glaciers supérieurs[2] ; cela est vrai. Mais on oublie que les

[1] *Gilbert's Annalen der Physik*, t. XLIII, p. 388. 1819.

[2] D. A. Les matériaux qui tombent sur les surfaces des petits glaciers supérieurs restent souvent sur la surface du névé qui les couvre, ou bien tombent dans une crevasse profonde, ou bien, s'arrêtant là dans des parties moins abruptes par l'ablation, la fonte de la surface, ils se trouvent dégagés et roulent sur la pente avec une vélocité très-

glaciers supérieurs de la Suisse s'appuient des deux côtés de la montagne, et ne permettent pas d'examiner leurs parties latérales dans toute leur hauteur. Ceux du Spitzberg, au contraire, se dégagent des montagnes environnantes en s'avançant sur le rivage, et l'on peut étudier leurs flancs aussi bien que leur surface.

Quelques savants, **Hoffmann**[1] entre autres, soutiennent encore l'opinion émise jadis par **de Saussure**. « Comme les vallées, dit ce grand observateur[2], ont toutes plus ou moins la forme d'un berceau, que leurs fonds sont plus excavés que leurs bords, les glaces se resserrent et se pressent vers le milieu des vallées : celles qui sont sur les bords s'éloignent de ces bords, glissent vers le point le plus bas, et entraînent avec elles, vers le milieu des vallées, les terres et les pierres dont elles sont couvertes. »

Qu'on adopte l'une ou l'autre de ces deux théories sur l'existence des blocs de pierre au milieu des glaciers, qu'on les considère comme des moraines centrales ou comme des blocs erratiques transportés transversalement du bord vers le centre du glacier, peu importe, car il est facile de prouver que ces blocs ne sauraient cheminer ainsi sur les glaciers du Spitzberg. A ceux qui regardent comme des moraines centrales les blocs situés au milieu des glaciers, je dirai que les mers de glace du Spitzberg sont rarement formées de la réunion de plusieurs petits glaciers convergents. Placées au fond des baies, elles reposent sur un amphithéâtre de montagnes parfaitement fermé; par conséquent elles ne sauraient avoir de moraines centrales (moraines médianes). Cependant le glacier du fond de Magdalena-Bay est formé de la réunion de cinq petits glaciers secondaires, mais ceux-ci sont très-courts et les sommets qui les dominent peu élevés. Il en résulte que peu de pierres tombent sur ces glaciers supérieurs : inférieurement, au contraire, la montagne se dégage du glacier, et tous les blocs qui roulent sur ses flancs tombent sur la glace.

Les partisans de l'explication donnée par **de Saussure** trouveront aussi des arguments dans les phénomènes des glaciers du Spitz-

grande; ce sont de vrais projectiles qui cassent bras et jambes. Jamais guide ni glacialiste n'aborde les petits glaciers que le matin de bonne heure, par une température froide et la surface du glacier gelée.

[1] *Physikalische Geographie*, t. Ier, p. 287.

[2] *Loc. cit.*, § 537.

berg. En effet, ceux-ci ne fondant pas par leur surface inférieure, ainsi que j'essaierai de le prouver, il en résulte qu'ils ne s'excavent pas en dessous, et que la cause principale de l'affaissement dont parle **de Saussure** n'existant plus par conséquent, les blocs ne sauraient être transportés ainsi perpendiculairement à l'axe du glacier. N'oublions pas que le point le plus déclive de ces mers de glace correspond à la ligne qui sépare les glaciers supérieurs des glaciers inférieurs de la Suisse. Or c'est précisément à ce niveau que les blocs commencent à se montrer sur la surface des glaciers alpins, par exemple à la partie supérieure du glacier inférieur appelé à tort *mer de glace* à Chamounix. Au Spitzberg, c'est au bord de la mer, plus bas que le point où ils ont été enfouis, mais à la même distance de l'axe du glacier, c'est-à-dire sur ses parties latérales, que les blocs commencent à surgir à la surface.

Les glaciers simples sans affluents n'ont que des moraines latérales dans les Alpes et au Spitzberg.

C. M. 17. En résumé, l'existence des blocs sur les côtés, leur absence sur la partie médiane sont deux faits incontestables[1]. Il en résulte que les glaciers du Spitzberg sont flanqués de moraines latérales, en général peu élevées et toujours en contact immédiat avec la glace. *Les blocs n'étant placés que sur les côtés*, sont rejetés à droite et à gauche. J'en ai vu qui étaient simplement posés à la surface; d'autres, à moitié enfouis dans la glace des murs latéraux, faisaient saillie à l'extérieur; d'autres, enfin, roulaient du haut du glacier sur la moraine. Je me rappelle entre autres un bloc de trois mètres cubes au moins, qui était suspendu pour ainsi dire sur la pente fort inclinée du glacier terminal de Magdalena-Bay. Les matelots de *la Recherche* crurent qu'il suffirait des efforts de quelques hommes pour le faire rouler en bas; mais ils s'aperçurent bientôt qu'il était gelé par sa base sur le glacier, et il fallut le détacher d'abord de la glace avant de le précipiter. Comme il n'y a *point de blocs au milieu des glaciers du Spitzberg*, ceux-ci n'ont pas de moraines terminales. C'est d'ailleurs au fond de la mer qu'il faudrait les chercher; mais les profondeurs considérables qu'on trouve dans leur voisinage (64 à 110 mètres) doivent faire rejeter cette supposition.

[1] D. A. Les glaciers simples, les glaciers qui ne se composent pas de plusieurs affluents n'ont jamais de moraine médiane sur le dos; toutes les roches qui tombent sur le glacier des parois latérales donnent lieu à de moraines latérales qui n'ont pas un long parcours.

La surface des glaciers du Spitzberg ne fondant presque pas, n'y observe jamais ces blocs élevés sur une colonne de glace (*Gletschertische*) qu'on admire sur les glaciers inférieurs de la Suisse.

C. M. 18. C'est encore parce que ces glaciers ne fondent pas à leur surface, qu'un certain nombre de blocs erratiques restent cachés dans leur épaisseur.

Causes de l'apparition à la surface des blocs enfouis dans leur épaisseur.

En effet, quand un bloc enfoui d'abord au milieu du névé est ramené dans les régions de glaciers inférieurs, la fusion superficielle du glacier finit par le mettre à découvert. J'ai vérifié ce fait par l'expérience, pendant mon séjour sur le Faulhorn, montagne élevée du canton de Berne, en Suisse.

Glacier du Faulhorn (Suisse).

Au pied du cône terminal du Faulhorn, le voyageur, pressé d'atteindre le sommet désiré, remarque rarement un *petit glacier* situé sur sa droite; car, de loin, il ressemble à une de ces flaques de neige qui, dans les hautes Alpes, résistent aux chaleurs de l'été. Ayant habité l'auberge du Faulhorn avec mon ami **M. Bravais**, depuis le 16 juillet jusqu'au 8 août 1841, nous avons pu étudier à loisir ce glacier en miniature, que j'ai revu dans les premiers jours du mois de septembre de la même année.

C. M. 19. Comme tous les autres glaciers de ce groupe de montagnes, celui-ci se distingue par sa petitesse et par l'absence de névé[1]. Il se compose en entier de glace spongieuse à la surface, et compacte à quelques centimètres de profondeur. Son sommet est situé à 2682 mètres au-dessus de la mer, ou à 80 mètres au-dessous du sommet de la montagne[2]. Sa forme est celle d'un triangle isocèle. La base du triangle est formée par l'extrémité libre du glacier; l'angle compris entre les deux côtés égaux en est le sommet. La perpendiculaire abaissée du sommet de ce triangle sur sa base coïncide, par conséquent, avec l'axe du glacier. Cet axe est dirigé du sud-sud-ouest au nord-nord-est. La rive du nord-ouest est dominée par le cône terminal, celle du sud-est par l'extrémité du plateau de

[1] M. A. Le petit glacier du Faulhorn, comme tous les glaciers des Alpes, est couvert de neiges et névés temporaires qui persistent souvent pendant un grand nombre d'années. Dans des années chaudes, cette couverture disparaît par fusion, et la glace du glacier est à découvert. De 1844 à 1862 j'ai visité le petit glacier du Faulhorn toutes les années, et je ne l'ai vu à la fin de l'été que trois fois à découvert (voy. nos *Matériaux pour l'étude des glaciers*, chap. *Glaciers en activité*).

[2] Voy. *Ergebnisse der trigonometrischen Vermessungen in der Schweiz*, p. 227.

Gassen, où ce glacier se termine supérieurement en diminuant successivement d'épaisseur. Il occupe donc une dépression triangulaire qui n'est que le commencement d'un couloir à pente très-rapide plongeant vers le Tschingelfeld. Les eaux qui s'écoulent du glacier vont se rendre dans le Giessbach, et avec lui dans le lac de Brienz. Quoique d'un aspect fort variable, la surface du glacier était en général assez unie et légèrement bosselée seulement. La pente faisait avec l'horizon, un angle de 5°,45′; celle de son escarpement terminal était de 42°,30′ à 50°,0′. Au nord-ouest, au sud-est et au sud-ouest il se confondait avec des flaques de neige; l'une s'élevait le long des flancs du cône terminal, l'autre couvrait un escarpement limité supérieurement par le plateau de Gassen, ainsi qu'une partie de ce plateau lui-même.

Météorologie au Faulhorn.

C. M. 20. Depuis son origine, qui remonte à 1832, l'auberge du *Faulhorn* a été un véritable observatoire météorologique. **M. Kæmtz** y a séjourné du 11 septembre au 5 octobre 1832 et du 11 août au 19 septembre 1833. En 1841 nous y avons fait, **M. Bravais** et moi, avec l'aide de **M. Wachsmuth**, qui dirige l'établissement, une série barométrique et thermométrique du 16 juillet au 4 septembre. Enfin, **MM. Peltier** et **Bravais** y ont observé du 26 juillet au 18 août 1842. Je puis donc donner des renseignements exacts sur le climat de ce petit glacier[1]. Au niveau du glacier, la température moyenne de l'année est de — 2°,26; celle de l'été, + 3°,42. En hiver, la moyenne doit être peu différente, de — 9 degrés, ce qui suppose des froids accidentels de — 20 à 25 degrés; mais elle a moins d'influence sur le glacier; car à partir du commencement d'octobre il est enseveli sous une couche profonde de neige qui ne disparaît quelquefois qu'au commencement d'août. En été il neige encore quatre ou cinq fois par mois, mais l'épaisseur de la couche dépasse rarement quelques décimètres. Sous cette couche, le glacier est à l'abri des influences météorologiques. Mais si des vents violents de sud-ouest ou de nord-ouest viennent balayer la neige qui le couvre, alors, en hiver comme en

[1] Il suffit de tenir compte de la différence de niveau qui existe entre le glacier et le sommet où l'auberge est placée. J'ai adopté un décroissement de 1 degré C. pour 189 mètres, qui est celui de juillet et d'août, déduit par **Kæmtz** des observations comparées de Genève et du Saint-Bernard (voy. *Vorlesungen über Meteorologie*, p. 244).

é, il n'est plus protégé contre les grands froids ni contre les cha-
urs. Celles-ci agissent avec d'autant plus d'efficacité que, dans
tte saison, les rayons du soleil tombent sur le glacier depuis le
oment de son lever jusqu'à cinq heures après-midi. Pendant les
és de 1841 et 1842, les températures extrêmes observées ont été
-4°,88 et + 13°,72 à l'ombre ; et au soleil 15°,80.

La glace, comme on le sait, émet des vapeurs d'autant plus abon-
antes que l'air est plus sec et plus chaud[1]. Aussi les indications
ygrométriques ont-elles une grande importance. L'humidité rela-
ve des étés de 1832, 1833 et 1841 a été en moyenne de 75,9, ou,
n d'autres termes, l'air contenait en moyenne 76 pour cent de la
uantité de vapeur d'eau nécessaire pour le saturer. L'air est rare-
ent calme au sommet du Faulhorn, et on sait que son agitation
vorise aussi l'évaporation.

Parmi les causes qui peuvent influer sur la fusion du glacier je négligerai complétement la chaleur du sol sur lequel il repose ; car **M. Bischoff** a fait voir[2], en s'appuyant sur des expériences, qu'un glacier ne saurait fondre sous l'influence de la chaleur du sol, quand la température moyenne de la terre qu'il recouvre est égale à zéro. Or il a montré que dans les Alpes on trouve déjà cette moyenne à 2002 mètres au-dessus de la mer[3], et, par conséquent, à 600 mètres au-dessous de notre glacier. Comme il est d'ailleurs flanqué de deux grandes masses de neige qui se confondent avec lui et s'étendent à une grande distance, il faudrait, avant d'agir sur sa face inférieure, que le sol échauffé fondît d'abord cette couche de neige ; or celle-ci ne disparaît jamais entièrement, même vers la fin de l'été. Le glacier est donc à l'abri de cette cause de fusion. L'influence de la chaleur centrale peut aussi être négligée sans inconvénient ; en effet, **M. Élie de Beaumont**[4] a prouvé, par le calcul, que le flux de la chaleur intérieure du globe ne peut fondre qu'une quantité de glace très-

La chaleur du sol en hautes régions a peu d'influence sur les glaciers.

[1] *Die Wærmelehre des Innern unseres Weltkörpers*, p. 102 et 225.

[2] D. A. 2002 mètres altitude au-dessus de la mer est une altitude trop basse pour la température du sol à zéro.

[3] D. A. L'eau gelée à l'état de neige, névé, glace ou glacier s'évapore lorsque le point de rosée de l'air ambiant est à une température inférieure à celle des matières gelées; mais il y a condensation, augmentation de poids, lorsque le point de rosée est à une température au-dessus de la matière gelée.

[4] *Annales des sciences géologiques*, juillet 1842 ; ou t. Ier, p. 558.

minime, en comparaison de celle dont la fusion est le résultat des agents atmosphériques. Pour que l'énumération de toutes les causes fût complète, il faudrait aussi connaître le rayonnement de la glace comparé à celui du sol; nous n'avons fait aucune expérience à ce sujet, et je ne saurais tenir compte de cet élément dont l'importance réclame l'attention des géologues et des physiciens.

Tout le monde connaît une opinion très-accréditée parmi les montagnards suisses, et suivant laquelle le glacier rejette tous les corps qui pénètrent dans son intérieur. Cette opinion a été acceptée par les savants, car le fait est incontestable. En effet, d'un côté on voit des pierres, des morceaux de bois, des cadavres, en un mot tous les corps d'une certaine dimension qui tombent ou qu'on ensevelit dans le glacier, remonter en apparence à la surface, et de l'autre, la glace des glaciers est toujours à l'intérieur d'une pureté proverbiale. Plusieurs hypothèses ingénieuses ont été émises pour expliquer cette prétendue ascension des pierres; on a été jusqu'à douer les glaciers de véritables propriétés vitales, et on assimilait l'expulsion des pierres à celle des corps étrangers introduits dans l'économie vivante. **MM. Toussaint de Charpentier**[1] et **Kæmtz**[2] furent les premiers qui soupçonnèrent que la fusion superficielle du glacier joue un rôle important dans ce phénomène. Pour arriver à un résultat positif, je cherchai à résoudre ce problème par l'expérience directe, et constatai qu'en été la surface supérieure des glaciers s'abaisse considérablement, par suite d'une fusion et d'une évaporation superficielle.

Les matériaux enchâssés accidentellement dans le glacier reviennent à la surface par suite d'ablation, fonte de la surface.

C. M. 21. Voici les expériences qui m'ont conduit à ce résultat. Le 21 juillet, à une heure, je creusai dans le glacier un puits de 15 centimètres de profondeur. Une pierre fut placée au fond, puis recouverte avec la glace concassée qui avait été retirée du trou. Le 25 juillet, à 5 heures du soir, ou soixante-six heures après, la pierre était à nu et à 3 centimètres seulement au-dessous de la surface du glacier. Cette première expérience ne prouvait absolument rien, sinon le fait de l'apparition assez prompte à la surface des glaciers d'un corps logé dans leur épaisseur[3].

[1] *Gilbert's Annalen der Physik*, t. XLIII, p. 388. 1809.

[2] *Einige Bemerkungen über die Gletscher* (*Schweiger's Journal für Chemie und Physik*, t. XLVII, p. 249. 1833).

[3] D. A. Apparition assez prompte à la surface par suite de journées chaudes, sereines et d'un soleil splendide.

Pour m'assurer si en effet la pierre remonte contre son propre ids, je choisis, le 26 juillet, sur les rochers voisins deux points es et bien visibles d'un côté du glacier à l'autre. Cela fait, je eusai, dans la direction de la droite qui joignait ces deux points, ı puits dans le glacier. Il avait 26 centimètres de profondeur. Une erre fut logée au fond du trou. La surface supérieure de cette erre était à 20 centimètres au-dessous de celle du glacier, puis ne perche, surmontée d'un voyant et glissant sur un jalon, fut acée sur la pierre. Pendant que **M. Bravais** visait, j'abaissais et élevais successivement le voyant jusqu'à ce que son bord supérieur ïncidât avec la ligne qui joignait les deux repères choisis sur les ves du glacier. Pendant l'opération je m'assurai de la verticalité e la perche au moyen du fil à plomb. Le bord supérieur du voyant ait à $2^m,80$ au-dessus de la pierre. Le trou dans lequel il s'était nassé 5 centimètres d'eau provenant de l'intérieur du glacier fut mpli avec la glace concassée qui en avait été extraite. Première expérience.

Le 1er août suivant, la surface supérieure de la pierre était à découvert et à 4 centimètres au-dessous de la surface du glacier. Mais our que le bord supérieur du voyant coïncidât avec la ligne qui ignait les deux repères, il fallut l'élever au-dessus de la pierre de centimètres de plus que dans la première expérience. Ainsi donc, uoique la pierre se trouvât à 4 centimètres au lieu de 20 au-dessous de la surface du glacier, son niveau absolu avait baissé, puisque, loin de raccourcir la perche pour abaisser le voyant de 16 centimètres, comme il aurait fallu le faire si la pierre était réellement emontée, il fallut l'allonger de 2 centimètres[1]. Par conséquent, 'est le niveau du glacier qui avait baissé de 18 centimètres en cinq ours.

Le 7 août, la pierre était à la surface du glacier; mais pour que le bord supérieur du voyant coïncidât de nouveau avec la ligne roite qui joignait les deux repères, il fallut l'élever de $0^m,255$ plus

[1] Le niveau absolu de la pierre n'avait probablement baissé de 2 centimètres que ar suite de son affaissement dans le trou, ou bien d'un léger tassement du glacier i-même. — D. A. Cet abaissement de la pierre de 2 centimètres provenait de l'action s rayons solaires sur la pierre qui, en s'échauffant, tendait à s'enfoncer; en supprimant la pierre et le bâton placés à nu dans le trou, on eût observé un rehaussement y. chap.: *Glaciers en activité*).

que le première fois. Ainsi, depuis le 26 juillet, le niveau absolu de la pierre avait baissé de $0^m,255$ et la surface du glacier de 495 millimètres, abaissement qui suppose une fusion moyenne de 38,1 millimètres de glace par jour.

Durant cet intervalle de treize jours nous avions noté, jour et nuit, de deux heures en deux heures, les indications du thermomètre; je puis donc savoir quelle quantité de chaleur le glacier a reçue. La somme des degrés thermométriques supérieurs à zéro, diminuée de la somme des degrés inférieurs à zéro, a été de 540 degrés. Pendant vingt-cinq heures sur 268, le glacier a été soumis à des températures inférieures à zéro. La moyenne thermométrique a été de $+3^o,48$. Les extrêmes ont été à l'ombre $+11^o,3$ et $-2^o,8$. Au soleil, le thermomètre ne s'est jamais élevé au-dessus de 15 degrés.

Deuxième expérience. L'expérience suivante est encore plus frappante, parce que sa durée embrasse un intervalle de temps plus considérable. Le 8 août 1841, je creusai dans la glace un puits de 70 centimètres de profondeur. Il s'était rempli d'eau aux deux tiers, par infiltration. La face supérieure de la pierre placée au fond du trou était à 66 centimètres au-dessous de la surface du glacier, et à $3^m,81$ au-dessous du voyant, dont le bord supérieur coïncidait avec la ligne qui joignait les deux repères. Ayant mesuré directement la hauteur du voyant au-dessus de la surface du glacier, je trouvai $3^m,14$, mesure qui s'accordait, à un centimètre près, avec les précédentes. Le trou fut ensuite rempli de glace comme à l'ordinaire. Le 5 septembre au matin, savoir vingt-huit jours après, la pierre était à surface du glacier et à $4^m,11$ au-dessous du voyant; son niveau absolu avait donc baissé de 29 centimètres; celui de la surface glacier s'était abaissé de 99 centimètres ou en moyenne de millimètres par jour [1].

Ablation de la glace. On voit que la fusion diurne a été moins considérable dans période que dans la précédente, et cependant la tempéra moyenne du 8 août au 4 septembre a été de $+5^o,17$; mais, compensation il était tombé beaucoup plus de neige, les br

[1] Les résultats de ces expériences ont déjà été publiés dans le journal l' 10 février 1842, et dans les *Annales des sciences géologiques*, octobre 1842.

aient été plus fréquentes et l'air plus calme que dans la première ériode [1].

En résumé, pendant l'été de 1841, savoir du 26 juillet au 4 septembre, avec une température moyenne de + 4°,61 et une humité relative de 76 pour cent, la fusion diurne moyenne a été de millimètres, et la surface du glacier s'est abaissée pendant la ême période de 1m,540, en estimant à 55 millimètres la fusion s demi-journées très-chaudes du 7 et du 8 août.

C. M. 22. A *Magdalena-Bay*, où nous séjournâmes du 1er au 12 oût 1839, le thermomètre se tint en moyenne à + 2°,97 et ne s'éva qu'une seule fois à + 5°,7. De plus, l'air était toujours chargé brumes, saturé d'humidité, et à deux reprises il tomba plusieurs ntimètres de neige. Comment, avec de pareilles circonstances étéorologiques, la surface des glaciers pourrait-elle fondre ou évaporer et laisser à découvert les blocs enfouis dans leur épaisur? A mesure que le glacier se démolissait, ces blocs tombaient la mer avec les masses de glace dans lesquelles ils étaient enâssés; mais en vertu de son poids spécifique, la pierre occupe rdinairement la partie submergée du glaçon flottant, et se dérobe nsi aux regards du navigateur.

Glaciers du Spitzberg. Météorologie.

C. M. 23. En parlant de ces blocs de pierre, dont les uns sont nchâssés dans la glace, tandis que les autres reposent à la surface, ai touché l'une des questions les plus discutées et les plus impornantes de la géologie, celle du transport des blocs erratiques. Je me ornerai à résumer en quelques mots les faits qui peuvent fournir les arguments aux partisans de l'une ou de l'autre des deux théories qui partagent les savants.

Blocs sur la surface et blocs dans l'intérieur des glaciers.

1° Il existe des blocs à la surface et dans l'intérieur des glaciers du Spitzberg.

2° Les blocs de la surface gisent toujours sur les côtés du glacier. Ceux qui sont enchâssés dans la glace se montrent sur toute la hauteur des parois latérales.

3° Je n'ai jamais vu de blocs au milieu de la surface du glacier ni dans le mur vertical qui fait face à la mer.

[1] D. A. Les plus fortes ablations de surfaces de glaciers se font par des journées chaudes et de soleil. La neige qui tombe sur le glacier empêche toute ablation; par des temps couverts, la fonte de la surface est très-faible et souvent nulle.

4° Tout me porte à croire que *la plupart* des blocs sont rejetés sur les côtés et forment les moraines latérales qui accompagnent ces glaciers[1].

5° Dans les deux voyages de *la Recherche* on n'a jamais vu de blocs transportés par des glaces flottantes; mais par le travers de Bell-Sound, un peu avant d'entrer dans la baie, mon collègue **M. E. Robert** a observé des glaces flottantes souillées de terre à leur surface, qu'on prit un moment pour des écueils.

Puissance des glaciers du Spitzberg.

C. M. 24. La partie la plus déclive des glaciers du Spitzberg, celle qui regarde la mer, forme toujours un mur vertical dont la hauteur varie entre 30 et 120 mètres. Celui du *glacier de Horn-Sound*, mesuré géométriquement par **Scoresby**[2], était élevé de 121 mètres; le second des *glaciers de Smeerenberg* ou *Fairhaven*, de 91 mètres, d'après **Phipps**[3]. A Magdalena-Bay le *glacier de l'Entrée* avait 63 mètres, celui de la *Pointe aux tombeaux*, 76 mètres, d'après les mesures des officiers de la corvette chargés de l'hydrographie. J'estime à 32 mètres celle des *deux glaciers* qui terminaient les deux baies.

Puissance des glaciers dans les Alpes.

C. M. 25. En Laponie, le grand amas de glaces qui couvre le *Sulitelma* présentait à sa partie inférieure un escarpement de 65 mètres de haut[4]. En Suisse, les glaciers inférieurs, à leur pente terminale, n'ont, en général, qu'une épaisseur de 10 à 25 mètres[5]. Cependant l'*Oberaargletscher* a 32 mètres à son pied[6], l'*Unteraargletscher*, 38 mètres[7], celui d'*Aletsch* à peine 30 mètres près du lac Marjelen[8]; celui *des Bois*, de 25 à 30 mètres[9].

[1] D. A. Ces observations et conclusions sont parfaitement exactes. Les glaciers en activité dans les Alpes et dans les Pyrénées, lorsqu'ils sont simples, ne portent jamais de matériaux sur le dos au milieu de la surface du glacier, et à la pente terminale on ne voit pas de blocs enchâssés dans la glace; les blocs qui tombent sur le glacier sont rejetés sur les côtés et forment les moraines latérales ou profondes.

[2] *Loc. cit.*, p. 102.

[3] *A voyage towards the north pole*, p. 70.

[4] **Wahlenberg**, *loc. cit.*, § 13.

[5] **Hugi**, *loc. cit.*, p. 330.

[6] *Ibid.*, p. 331.

[7] *Ibid.*, p. 331.

[8] *Ibid.*, *ibid.*

[9] **De Saussure**, *loc. cit.*, § 523. — D. A. Ces hauteurs sont très-approximatives.

Mais les glaciers supérieurs, qui correspondent à ceux du *Spitz-berg*, ont une puissance beaucoup plus considérable et qui peut s'é-ever à une très-grande hauteur. Nous voyons que la similitude entre les mers de glace du Spitzberg et les glaciers supérieurs de la Suisse se soutient jusque dans les appréciations numériques.

Causes de la démolition annuelle des glaciers du Spitzberg.

C. M. 26. Le docteur **Latta**[1] affirme positivement que les glaciers du Spitzberg s'arrêtent tous au bord de la mer. **Scoresby**[2] et **Keilhau**[3] sont moins exclusifs. « Lorsque, dit le navigateur anglais, la mer est peu profonde, le glacier s'avance à une certaine distance; quand elle est profonde et habituellement couverte de glaces, comme c'est le cas dans la baie de Baffin, alors, ajoute-t-il[4], le glacier s'avance très-loin dans la mer, jusqu'à ce qu'il atteigne le fond de l'eau à une profondeur de quelques centaines de pieds, et en se démolissant il donne naissance à ces montagnes de glace qu'on rencontre si souvent à l'ouest du Grœnland.» Un savant qui n'a point visité le Nord, mais qui a étudié attentivement les glaciers de la Suisse, **M. André de Luc**, a émis une opinion mixte d'après les données qu'il a puisées dans un des voyages du capitaine **Ross.** La voici, copiée textuellement dans son mémoire[5]:

« Des glaciers immenses, fermés dans les gorges et dans les vallées qui aboutissent à la mer, sont poussés en avant et arrivent sur une eau profonde; pendant quelque temps la glace se soutient par la force de la cohésion; mais lorsque la masse qui est sans appui devient trop considérable pour se maintenir par cette seule force, elle se rompt et s'enfonce dans la mer aux quatre cinquièmes de sa hauteur, et, si l'eau est assez profonde, cette masse est mise à flot. Le glacier continue à s'avancer dans la mer, de nouvelles masses s'en détachent, et ainsi se forment à la suite des temps les chaînes de montagnes de glace. Si la mer a peu de profondeur dans une baie, le glacier s'avance reposant et glissant toujours sur le fond de la mer, et c'est ainsi qu'on voit des glaciers immenses s'étendre de plusieurs milles dans la mer,

[1] *Loc. cit.*, p. 102 et 260.
[2] *Loc. cit.*, p. 97.
[3] *Loc. cit.*, p. 135.
[4] *Loc. cit.*, t. Ier, p. 108.
[5] *Notice sur les glaces de la baie de Baffin* (*Bibliothèque universelle de Genève*, t. XIII, érature, p. 288. 1820).

« sans qu'aucune masse s'en sépare. Ils ont pris, pour ainsi dire, « la place de la mer dans la baie. »

Laissant de côté les glaciers de la baie de Baffin, sur lesquels je reviendrai plus tard, je me bornerai à démontrer :

I. Que les glaciers situés au fond des baies du Spitzberg ne s'arrêtent pas au bord du rivage, mais s'avancent sur la mer.

II. Qu'ils ne glissent jamais sur le fond de la mer, mais qu'ils la surplombent, en sorte que la face inférieure du glacier est en contact avec la surface de l'eau.

Preuves que les glaciers s'avancent dans la mer.

C. M. 27. 1° Qu'on examine un plan des baies du Spitzberg, et en particulier ceux de Bell-Sound et de Magdalena-Bay, dressés par les officiers de *la Recherche*[1], on verra que les murs verticaux des glaciers forment partout des lignes à peu près droites qui barrent transversalement le fond des baies. Or, en décrivant une courbe concentrique *b' b' b'* à celle qui passerait par les sommets des montagnes dont la base est masquée par le glacier, on peut tracer le pourtour formé par le rivage, car au Spitzberg il n'y a point de plage. On voit alors que le fond des baies est arrondi comme partout ailleurs. Le mur de glace qui les barre est la corde d'un arc de cercle formé par l'extrémité arrondie de la baie, et dont la partie inférieure du glacier occupe le segment. Ainsi les sept glaciers remplissent de petites baies, et les montagnes qui les séparent sont autant de promontoires.

2° Jamais je n'ai pu découvrir au milieu de la base de l'escarpement du glacier le sol sur lequel elle devrait reposer, tandis que la roche sous-jacente était très-visible aux extrémités de cette base. Qu'on ne m'objecte pas que la mer noyait le pied de la masse, car à la marée basse on voyait distinctement un intervalle d'un mètre environ entre la glace et la surface de l'eau.

3° Pendant nos deux séjours à Bell-Sound et à Magdalena-Bay nous avons vu les deux glaciers se démolir et se retirer graduellement. Comment les morceaux de glace seraient-ils toujours tombés dans la mer, si le glacier n'avait pas dépassé le rivage ? Cette démolition continuelle devient un fait inexplicable si l'on suppose que le glacier s'arrête au bord de la mer.

[1] Voy. ce dernier plan dans l'atlas de physique.

4° Ces masses étant sans cesse poussées en avant par celles qui les dominent, pourquoi s'arrêteraient-elles précisément au bord de l'eau qui n'oppose aucun obstacle à leur progression?

5° Les profondeurs considérables de la mer, variant entre 32 et 123 mètres, que l'on trouve près de l'escarpement des glaciers, prouvent qu'il est fort éloigné du rivage.

Preuve que les glaciers ne glissent pas sur leur fond.

C. M. 28. Il me reste à démontrer que la partie la plus déclive des glaciers du Spitzberg s'avance sur la mer, et ne glisse pas sur son fond, en un mot, qu'elle forme un segment de cercle dont l'arc ainsi que les deux extrémités de la corde reposent sur le rivage.

1° Si les glaciers descendaient dans le fond de la mer, on devrait en rencontrer dont la surface supérieure serait baignée par les flots; cette surface formerait un plan incliné qui ferait avec celle de la mer un angle plus ou moins ouvert. Or c'est ce qui ne se voit jamais; le glacier se termine toujours par un escarpement vertical d'une hauteur considérable.

2° Lorsque la marée est basse, on ne distinguerait pas un intervalle entre la glace et l'eau, intervalle qui règne tout le long du glacier. Mais, pourrait-on dire, le glacier repose sur le fond de la mer, et le mur vertical qui le termine est seulement creusé au niveau de la surface de l'eau par l'action des vagues. Si cette hypothèse était vraie, on verrait au pied des glaciers des cavités hémisphériques analogues à celles de toutes les glaces flottantes, où l'on aperçoit toujours la glace submergée au-dessous de la vague qui la creuse. Or il n'en est point ainsi pour les glaciers. La ligne qui termine leur surface inférieure est parfaitement droite, continue, horizontale, et par conséquent parallèle au niveau de la mer. Je m'en suis assuré en longeant le glacier de Magdalena-Bay. Je suis entré avec le canot dans les cirques formées dans le glacier même par l'éboulement des glaces, et nulle part je n'ai vu de glace sous-marine.

3° Quand une masse considérable se détache du glacier, elle comprend toujours toute sa hauteur; c'est pour ainsi dire une portion du glacier qui se sépare du reste. Si elle touchait au fond, elle glisserait ou culbuterait seulement; mais on la voit le plus souvent plonger presque verticalement et rester quelques secondes sous l'eau avant de revenir à la surface.

4° En montant sur le glacier terminal de Magdalena-Bay, j'ai vu distinctement qu'il était affaissé vers le milieu et fortement concave dans toute la partie qui surplombait la mer.

5° A mesure que le glacier se démolit, l'escarpement qui le termine tend à décrire une courbe de plus en plus parallèle à celle du rivage, parce que les parties médianes, qui ne sont pas soutenues, se démolissent les premières.

6° Un autre argument se tire de la hauteur des glaces qui se détachaient des glaciers du fond de l'une et de l'autre baie, et venaient flotter autour du navire. Jamais leur hauteur au-dessus de l'eau n'a dépassé celle des bastingages de *la Recherche*, c'est-à-dire environ 4 mètres. Par conséquent la partie plongée sous l'eau ne pouvait avoir plus de 28 mètres, même en admettant la donnée de **M. Lyell**[1], celui de tous les savants qui donne le chiffre le plus fort, en admettant que les 7/8 de la glace plongent sous l'eau. Ainsi le bloc de glace le plus élevé n'avait en tout que 32 mètres de haut, élévation qui est précisément celle des deux glaciers du fond de Bell-Sound et de Magdalena-Bay, au-dessus du niveau de la mer. S'ils reposaient au fond il en serait tout autrement. **M. Pacini**, enseigne de vaisseau, a sondé par 32 et 64 mètres au pied même du grand glacier de Bell-Sound. A la distance de 80 mètres de celui de Magdalena-Bay j'ai trouvé constamment entre 102 et 123 mètres. En supposant que la base des glaciers reposât au fond de l'eau, il en résulterait, pour Bell-Sound, des glaçons flottants dont la hauteur totale eût été de 80 mètres, savoir, 10 mètres au-dessus et 70 mètres au-dessous de la surface, et alors ils seraient presque tous restés échoués sur le fond, ce qui n'avait pas lieu. A Magdalena-Bay les glaces flottantes auraient eu une hauteur totale de 145 mètres, savoir, 18 au-dessus et 127 au-dessous de l'eau. Elles auraient presque toutes atteint la hauteur de la grande hune du navire, et aucune d'elles n'aurait pu sortir de la baie. Or les glaces flottantes n'échouaient que par des profondeurs de 5 à 10 mètres environ; elles entouraient souvent la corvette, autour de laquelle il n'y avait nulle part plus de 21 mètres de fond. Enfin le reflux les entrainait toutes hors de la baie, et elles passaient dans tous les endroits dont la profondeur était de 15 mètres environ.

[1] **Hoffmann**, *Physikalische Geographie*, t. Ier, p 298

7° Il est facile de se rendre compte pourquoi les glaciers n'entrent pas dans la mer, si l'on a égard à la température de la surface de l'eau en été. A mesure qu'ils descendent (et ce mouvement se fait très-lentement), ils se trouvent en contact avec un liquide dont la température, à Bell-Sound, n'a jamais été au-dessous de + 1°,45, et en moyenne de + 3°,5. A Magdalena-Bay, le minimum a été de +0°,9, la moyenne de + 1°,34. A mesure que la glace est baignée par de l'eau à ces températures, elle fond; cependant le glacier continue à descendre en s'appuyant sur les deux côtés de la baie. Cela est si vrai que les glaciers qui sont au bord d'un rivage rectiligne ne s'avancent que peu ou point dans la mer. Tels étaient le glacier de l'Entrée à Magdalena-Bay, et le bras méridional *b'* de celui du fond de la baie; ils ne dépassaient pas le rivage et ne se sont point démolis pendant notre séjour.

Si l'on demande comment il est possible que ces masses immenses restent ainsi suspendues, je répondrai qu'elles reposent sur les côtés et en arrière sur le rivage, qu'elles tiennent à la partie supérieure du glacier qui s'enfonce profondément dans les terres. De plus, quand la marée est haute, la mer qui vient baigner leur face inférieure les soutient de la manière la plus efficace, à cause de la légèreté spécifique de la glace et de la densité de l'eau salée. Dès que ces différents points d'appui sont insuffisants, les parties les plus avancées et séparées des autres par des crevasses s'écroulent : de là ces éboulements continuels dont nous avons été témoins.

Voûtes des glaciers de la Suisse (*Gletscherthor*).

C. M. 29. La formation de ces voûtes de glace qu'on admire à l'extrémité inférieure des glaciers de la Suisse est un phénomène tout à fait analogue à celui dont je viens de parler. Ces grottes n'existent pas en hiver, mais au printemps, dit **Ebel**[1], les eaux résultant de la fonte des neiges pénètrent dans les crevasses du glacier, puis sortent par son extrémité, et fondent quelquefois une masse de glace de 30 mètres de haut sur 15 à 25 de large. Ces voûtes se soutiennent pendant tout l'été. Les glaciers du Spitzberg ne sauraient durer aussi longtemps; à mesure qu'ils s'avancent, ils s'affaissent et s'abîment dans la mer. De là ces quantités immenses

[1] *Anleitung die Schweiz zu bereisen*, t. III, p. 120.

de glaces flottantes qui couvrent la mer Glaciale et s'avancent quelquefois jusqu'au 45e degré de latitude. Comment pourrait-on expliquer leur nombre prodigieux par la simple érosion des glaciers, situés la plupart au fond des baies où la mer est calme et à l'abri des vents et des vagues de la pleine mer? Mais si l'on réfléchit que pendant l'été une partie des glaciers du Spitzberg s'écroulent dans la mer, on comprendra aisément d'où proviennent ces champs de glace d'eau douce qui nagent dans l'Océan glacial. Chaque jour les baies que nous avons visitées étaient entièrement couvertes de nouveaux glaçons que le reflux entraînait vers la mer. Lorsque le thermomètre s'élevait à quelques degrés au-dessus de zéro, et que l'air était rempli de brume, alors des masses énormes se détachaient des glaciers et se précipitaient avec fracas dans les flots, qui imprimaient à la corvette de grands mouvements de roulis, et s'élevaient de plusieurs mètres sur le rivage comme dans un raz de marée.

Glaces flottantes de la baie de Baffin.

C. M. 30. On sait que dans la baie de Baffin les glaces flottantes sont plus élevées que dans les mers du Spitzberg; elles forment de véritables montagnes. **Scoresby**[1] parle de glaces flottantes qui avaient 45 mètres de haut. Ces montagnes de glace sont très-souvent échouées sur le fond, et **M. A. de Luc** pense avec raison qu'elles ne peuvent pas fondre au fond parce que la température de la mer y est inférieure à zéro. En effet, d'après les observations du capitaine **Ross**[2] il y a dans ces parages des glaciers dont la hauteur est de 300 mètres au-dessus de la surface de l'eau. Un fragment détaché d'un tel glacier pourra encore former des montagnes élevées de 73 mètres au-dessus de l'eau. Il n'est donc point nécessaire de supposer, avec **M. de Luc**, que les glaciers glissent sur le fond de la mer, pour expliquer la hauteur des montagnes de glace dans ces parages. Mais des considérations tirées de la température de la mer pourraient faire pencher vers son opinion. En effet, dans ces parages, les températures sont presque toujours au-dessous de zéro, même à la surface. **Ross** a donné des tableaux météorologiques à la suite de la relation de son voyage sur l'*Isabelle* et

[1] *Journal of voyage to the nothern Whalefishery*, 1823.
[2] *Loc. cit.*, p. 141.

l'Alexandre. La température de la surface de la mer était notée quatre fois par jour. Résumant les observations faites par 63°,49′ et 79°,49′ de latitude nord, pendant les mois de juin, juillet, août et septembre, je ne trouve que trente et un jours durant lesquels la température de la mer fut au-dessus de zéro ; tout le reste du temps elle se tint au-dessous. Le maximum a été de + 1°,11 C.; le minimum de — 1°,11. Jamais dans les mers du Spitzberg, même sous 80 degrés latitude nord, je n'ai trouvé la température de la pleine mer au-dessous de + 0°,7 à la surface, et presque toujours elle était supérieure à + 1°,0. On aurait donc tort de conclure de la baie de Baffin à l'Océan glacial, et quand même les recherches ultérieures viendraient à prouver que les glaciers de la baie de Baffin s'avancent dans la mer en glissant sur son fond, cela ne préjugerait rien contre ceux du Spitzberg, dont les côtes sont baignées par un courant équatorial d'eau chaude, venant du cap nord comme nous essaierons de le prouver ailleurs.

Causes de la progression des glaciers du Spitzberg.

C. M. 30. Les glaciers de la Suisse descendent dans la plaine par un mouvement progressif et continu ; c'est là un fait admis par tout le monde. Ce mouvement, sensible surtout pendant la belle saison, ne cesse peut-être pas totalement en hiver[1]. **De Saussure**[2], **Albert de Haller**[3] l'ont affirmé, et la destruction du village de Randa, dans le haut Valais, renversé par la chute d'un glacier du Weissborn, qui tomba de 2000 mètres environ, le 27 décembre 1819, en a fourni la triste preuve[4]. Mais si l'on est d'accord sur le fait, on ne l'est pas sur son explication. **De Saussure**[5], **Escher von der Linth**[6], **André de Luc** attribuent cette progression au poids des glaces et à l'affaissement produit par la fonte de la face inférieure qui repose sur le sol. Déjà du temps de **Gruner**[7] on

[1] D. A. Les glaciers de la Suisse nous disent qu'ils ne restent pas stationnaires en hiver.

[2] *Loc. cit.*, § 538.

[3] Cité par **A. de Luc** : *Note sur les glaciers des Alpes* (*Biblioth. univ. de Genève*, mai 1839, p. 142).

[4] *Bericht von der Zerstörung des Dorfes Randa*, von **Venetz** (*Gilbert's Annalen der Physik*, t. LXIV, p. 209. 1820).

[5] *Loc. cit.*, § 535.

[6] *Gilbert's Annalen der Physik*, t. LXIX, p. 113. 1821.

[7] *Description des glaciers de la Suisse*, p. 327. 1770.

avait admis une troisième cause, la dilatation de l'eau passant à l'état solide. Depuis, cette opinion a été formulée plus nettement par **T. de Charpentier**[1] et le prieur **Biselx**[2], discutée et admise par **Gilbert**[3], et enfin reproduite, dans ces derniers temps, par **M. Agassiz**[4]. Le poids des glaces, la dilatation de l'eau qui se congèle dans les fissures, et leur élargissement, qui en est la conséquence nécessaire, telles sont les trois causes qui me paraissent jouer le plus grand rôle dans la progression des glaciers du Spitzberg. En effet, l'affaissement dont parle **de Saussure** ne saurait entrer en ligne de compte, car ces glaciers ne fondent jamais par celle de leurs surfaces qui est en contact avec le sol. Voici mes preuves : à Magdalena-Bay, il y a, comme je l'ai déjà dit, deux petits glaciers qui s'arrêtent au haut d'un talus et ne descendent pas jusqu'à la mer. Je les ai examinés de près : pas le plus petit filet d'eau ne s'échappait de leur pied. Quant à ceux qui s'avancent dans la mer, il est impossible de s'assurer directement s'ils donnent naissance à des ruisseaux par leur partie la plus déclive, parce que ceux-ci se perdraient dans la mer au-dessous de la glace. Les ruisseaux qui coulent latéralement entre le glacier et la montagne doivent leur existence à la fonte des neiges.

Température de la terre.

C. M. 31. Les expériences que nous avons faites sur la température de la terre me paraissent démontrer également que les glaciers du Spitzberg ne fondent pas sous l'influence de la chaleur terrestre. A Bell-Sound, la terre était fortement gelée à moins d'un mètre de profondeur. On était forcé de jeter de l'eau chaude dans le trou pour continuer le forage. Le 3 et le 4 août 1838, un thermomètre enfoncé à $0^m,43$, et suivi pendant trente-trois heures, s'est tenu en moyenne à $+2^o,86$; le maximum a été $+8^o,4$, le minimum $+0^o,2$. A Magdalena-Bay un autre thermomètre, enfoncé de $0^m,35$ et observé d'heure en heure pendant dix jours, se tint en moyenne à $+1^o,55$; le maximum fut $+2^o,40$, le minimum $+0^o,40$. Les variations

[1] *Gilbert's Annalen der Physik*, vol. LXIII, p. 388.

[2] *Gilbert's Annalen der Physik*, t. LXIV, p, 383, 1820; et *Bibliothèque universelle de Genève*, t. XI et XII (ancienne série).

[3] *Annalen der Physik*, t. LXIV, p. 183 (voy. les notes).

[4] *Bulletin de la Société géologique de France*, t. IX, p. 443; et *Biblioth. univ. de Genève*, mai 1840, vol. XXVII, p. 134.

diurnes suivaient celles de la température atmosphérique. Ainsi, au Spitzberg, le sol est gelé au fort de l'été à un mètre de profondeur, et la surface n'est réchauffée que par l'action directe du soleil. Il est évident que cette influence ne saurait agir sur la terre que recouvrent les glaciers. La chaleur atmosphérique ne peut pas pénétrer à travers des masses de glace d'une telle épaisseur, et le sol sur lequel elles reposent est nécessairement gelé. Nous avions l'intention de nous en assurer directement: des circonstances indépendantes de notre volonté nous en ont empêché[1].

Dans son excellent ouvrage sur la température de la terre[2], M. le professeur **Bischoff** a parfaitement démontré qu'un glacier ordinaire ne saurait fondre sous l'influence de la chaleur centrale, lorsque la température moyenne de la terre qu'il recouvre est égale à zéro. Or il fait voir[3] que, dans les Alpes, c'est à 2002 mètres d'altitude qu'on trouve cette moyenne. Ce point étant encore à 468 mètres au-dessous de la ligne de séparation des glaciers inférieurs

[1] **M. Élie de Beaumont** a inséré dans le journal l'*Institut*, du 13 juin 1836, une note physico-mathématique sur la relation qui existe entre l'épaisseur que les glaces perpétuelles peuvent acquérir dans un lieu donné et l'accroissement de température qu'on observe dans les lieux profonds. Si nous appliquons aux glaciers du Spitzberg les conséquences qui découlent de ses formules, nous trouverons que la face en contact avec le sol doit entrer en fusion, et que, par conséquent, l'accroissement en épaisseur de la masse entière sera nécessairement limité s'ils acquièrent une puissance telle que leur base se trouve comprise dans une zone de la température terrestre supérieure à zéro. En effet, la température moyenne de l'air, au Spitzberg, est très-probablement — 7 degrés C.; mais les températures supérieures à zéro ne pouvant traverser ni la glace ni la neige qui recouvre le sol pendant toute l'année, nous ne tiendrons pas compte dans cette moyenne générale des moyennes mensuelles de juillet et d'août, qui sont supérieures à zéro. La moyenne transmissible par la neige et la glace se trouve ainsi abaissée à — 9° C. environ. Si nous admettons avec **M. Élie de Beaumont** que l'accroissement de température soit de 1 degré pour 30 mètres à mesure qu'on s'enfonce verticalement dans la terre, si nous supposons de plus que la conductibilité de la glace pour la chaleur soit égale à celle de la terre, il faudra qu'un glacier ait 270 mètres de puissance pour atteindre l'isogéotherme de zéro. S'il dépasse cette limite, il fond. Parmi les glaciers observés jusqu'ici au Spitzberg, le plus puissant, celui de Horn-Sound, a 121 mètres de hauteur verticale au bord de la mer. Il n'atteint donc pas le point de fusion, puisque sa base se trouve de niveau avec l'isogéotherme de — 5 degrés C. Mais s'il était possible de visiter l'intérieur de l'île, on y trouverait probablement des masses de glace dont la puissance serait de 250 mètres environ.

[2] *Die Wærmelehre des Innern unsers Erdkörpers*, 1837.

[3] *Ibid.*, chap. XVIII.

et supérieurs, nous pouvons établir une nouvelle analogie entre ces mers de glace et celles du Spitzberg[1].

Le poids des glaces doit nécessairement entraîner les glaciers vers les parties les plus déclives, et il agit avec d'autant plus d'avantage que, pendant l'été, rien ne s'oppose à la progression de leur partie inférieure.

Progression des glaciers.

C. M. 32. Voici du reste, sans recourir à aucune hypothèse, comment je me figure la progression d'un glacier. En été, d'immenses crevasses transversales partagent verticalement sa masse tout entière en autant de masses cunéiformes secondaires : par conséquent sa surface est augmentée de la somme de tous les intervalles que ces crevasses laissent entre elles à leur partie supérieure. Le glacier étant solidement adossé contre les montagnes ne saurait reculer ; c'est donc la partie inférieure, que rien n'arrête, qui se trouve déplacée et poussée en avant. Il se forme de nouvelles crevasses, le glacier avance encore, et ainsi de suite. Cette progression n'est donc ni un glissement ni un affaissement difficiles à comprendre, puisque la glace doit adhérer au sol, mais un démembrement successif. Une comparaison rendra peut-être mon idée plus intelligible : si l'on place de champ, sur son dos, un portefeuille à compartiments, et que l'on appuie l'une de ses faces contre un obstacle, tel qu'un mur, on ne pourra l'ouvrir qu'en faisant avancer la face opposée qui est seule mobile. L'obstacle c'est l'amphithéâtre de montagnes qui borne et arrête le glacier du côté de la terre ; les intervalles qui séparent chacun des compartiments ce sont les crevasses, et les compartiments représentent les masses de glaces cunéiformes dont un certain nombre s'engloutissent chaque année dans la mer. Ai-je besoin d'ajouter que cette comparaison n'est pas rigoureusement exacte, et qu'elle n'a d'autre but que l'élucider ma pensée?

Analogie des glaciers du Spitzberg et de ceux de la Suisse.

C. M. 33. Une dernière analogie existe entre les glaciers du Spitzberg et ceux de la Suisse. Ces derniers, grâce à leurs fontes

[1] **M. Bischoff** cherche même à prouver par des raisonnements, des expériences et des faits que la chaleur centrale de la terre n'a aucune part à la fonte des glaciers en général, et que les ruisseaux qui en découlent sont formés par des sources qui jaillissent sous les glaciers et s'accroissent en faisant fondre la glace qui se trouve en contact avec eux. Ceci expliquerait d'une autre manière pourquoi ceux du Spitzberg ne donnent pas naissance à des ruisseaux : c'est que personne n'a jamais observé de sources dans cette île.

annuelles, envoient à la mer les grands fleuves qui maintiennent la constance de son niveau. Les glaciers du Spitzberg contribuent au même résultat en y versant périodiquement ces masses immenses de glaces flottantes qui abaissent la température des mers du Nord, diminuent leur évaporation et rendent les pluies assez rares et peu abondantes dans les régions situées au nord du cercle polaire. Si dans ces contrées déjà couvertes de marais, que le soleil est impuissant à dessécher malgré sa longue présence au-dessus de l'horizon, les pluies étaient aussi fréquentes que dans les zones tempérées, la ligne des neiges éternelles s'abaisserait encore, les marais augmenteraient continuellement d'étendue, et ces pays, déjà si peu favorisés par la nature, deviendraient tout à fait inhabitables.

Note additionnelle.

C. M. 33. Les savants et les gens du monde ont longtemps agité la question de savoir si les glaciers de la Suisse s'avancent continuellement dans les plaines, ou s'ils sont aujourd'hui à la même place qu'ils occupaient il y a plusieurs siècles. En Norwége on a aussi réuni quelques documents. Comme les progrès des glaciers enlèvent à la culture les terrains qu'ils ont une fois envahis, il est plus facile de trouver des preuves de leurs progrès que des souvenirs de leur diminution. En effet, des actes, des contrats constatent l'existence d'une maison, d'un champ, d'une forêt; mais quel intérêt les habitants auraient-ils à mesurer l'étendue d'une surface couverte de blocs et de sable, et frappée d'une éternelle stérilité?

Pour le Spitzberg, les données sont encore plus incertaines. Voici cependant ce que j'ai recueilli à cet égard. Nos deux pilotes, qui avaient visité plusieurs fois le Spitzberg, m'assurèrent qu'ils avaient toujours vu les glaciers à la même place. Il s'agissait d'avoir des renseignements de date plus ancienne. Le lieutenant de *la Recherche*, **M. Delangle**, eut la bonté de me prêter une vieille carte hollandaise, intitulée: *Nieuwe Afteckning van hat Eyland Spitzbergen opgegeven door de commandeurs Giles, en Outger Rep, en in't ligt gelegt en uytgegeven Gerard van Keulen Bock en Zeekart, verkooper aan de Nieuwenbrug, met Privilegie vor 15 Jaaren.*

Les glaciers du Spitzberg progressent.

C. M. 34. Cette carte ne porte pas de date, mais elle ne peut pas remonter au delà de 1707, époque à laquelle le commandeur **Giles** découvrit la terre qui porte son nom. La grossièreté de l'exécution prouve qu'elle ne lui est postérieure que d'un petit nombre d'an-

nées. Elle est mal orientée, mais il y a de la vérité dans le dessin de la côte. Bell-Sound y est désigné sous le nom de *Bel Sond of Klok Bay of Willem van Muyens Bay*. A la place occupée aujourd'hui par le grand glacier de Bell-Sound se trouve une langue de terre étroite, derrière laquelle est une anse avec un ancrage, qui porte le nom de *Schoone Bay*. Au fond de cette baie se jette une petite rivière, désignée sous le nom de *Sardammer Rivier*. Rien de semblable ne se voit plus à Bell-Sound ; toute cette partie est occupée par le glacier. Mais on retrouve d'autres détails qui prouvent l'exactitude des hydrographes hollandais. La montagne sur laquelle nous avions établi un observatoire est appelée *Staadberg*. On reconnait la petite île aux Eiders, et la rivière de *Sardam* est peut-être le ruisseau considérable qui longe la partie occidentale du glacier, et que celui-ci aura détourné de son cours. On ne saurait admettre que les auteurs aient oublié de marquer les glaciers, car celui de la Pointe aux renards est exactement indiqué.

Sur la même carte, le fond de la baie de la Madeleine est semi-circulaire, comme il le serait si le glacier ne s'avançait pas dans la mer; et on voit une petite île vers le nord, à un endroit qui est maintenant occupé par lui.

Il est donc possible que ces glaciers aient avancé depuis l'époque à laquelle la côte a été relevée par les Hollandais. Toutefois je n'accorde pas à ces observations une confiance qu'elles ne méritent pas ; mais elles m'ont paru assez curieuses pour être rapportées. Dans tous les cas, l'accroissement des glaciers du Spitzberg ne saurait être illimité, car il sera toujours borné par la mer, dans laquelle ils s'engloutissent incessamment, à mesure qu'ils s'avancent sur elle en descendant du flanc des montagnes.

CHARLES MARTINS.

GLACES FLOTTANTES.

Chasse aux ours blancs sur une banquise [1].

Quelques-uns savent, beaucoup ignorent qu'en partant de New-York pour se rendre en Europe, on s'élève jusqu'à la hauteur du banc de Terre-Neuve, en traversant le merveilleux *Gulf-Stream*, qui coule du golfe du Mexique jusqu'aux côtes de Norwége comme un immense fleuve d'eau chaude au milieu de la mer. — C'est dans ces parages septentrionaux qu'on rencontre, au mois de juin, les énormes glaçons, les *icebergs* (montagnes de glace), comme disent les langues du nord d'une manière plus expressive.

Dès les premières chaleurs du printemps, les barrières glacées des hautes régions commencent à se rompre, à éclater avec des bruits retentissants comme des décharges d'artillerie ou des fracas de tonnerre qui, tout à coup, interrompent le majestueux silence de ces espaces immobiles, bruits formidables, voix rugissantes de la nature qui s'éveille de son long sommeil de frimas. — A travers les fissures, les anfractuosités s'échappent en grondant des courants de vents longtemps emprisonnés, qui mettent en mouvement et poussent les icebergs vers le sud. — Souvent surpris dans leur engourdissement hivernal, les *phoques*, les *ours blancs* sont entraînés à de grandes distances avant qu'ils se réveillent. Alors il est trop tard et ils se sentent trop éloignés des grands bancs pour s'aventurer à la nage.

En juin dernier, lors du voyage du steamer *Ariel*, qui naviguait, le cap sur Southampton et le Havre, un matin, au lever du jour, on signala, seulement à deux milles à babord, la présence d'un *vaste bloc*, presqu'à flottaison, surmonté d'un pic au milieu et qui avançait lentement. — Le capitaine jugea que, sans forcer sa vapeur, il pouvait l'éviter. Car le choc d'une *banquise* suffit pour faire sombrer un navire. — Son aspect présentait un spectacle magnifique : un îlot d'émeraude à veinures d'escarboucles allumés par les premiers rayons du soleil, à stries de diamants qui ruisselaient sur les arêtes et scintillaient comme une multitude d'étoiles. Cet écrin flottant eût été le digne berceau de Vénus, si les anciens poëtes eussent connu les icebergs. — A l'aide de la longue-vue on ne tarda pas à découvrir plusieurs objets qui s'agitaient à la surface, tandis qu'au sommet du pic s'était perchée une légion de *fous*, de *goëlands* et de *courlis*.

Bientôt on reconnut de grands *ours blancs* qui arpentaient le glaçon et guettaient le passage des algues, des cancres et des lits de poissons qui aiment à tourner autour de ces rivages glacés. Le temps étant calme et serein, des passagers excentriques, à passions cynégétiques, parvinrent à persuader au capitaine de faire mettre une chaloupe à l'eau pour leur donner le plaisir d'une attaque de l'iceberg et de son équipage fourré. — Certes, c'était une idée folle qui ne pouvait manquer de surgir dans l'esprit de chasseurs émérites. Mais elle n'était pas moins fort piquante. Rencontrer du gibier au milieu de l'Océan et interrompre son voyage tropical, sans respect pour son droit de libre

[1] D. A. Extrait du journal *le Sport*, n° 43, 23 octobre 1861, *Chasse aux ours blancs sur une banquise*.

circulation sur ce terrain neutre, devait chatouiller au suprême degré la fibre de ces ardents amateurs. Ce sport était trop rare pour ne pas le savourer. Il fut donc décidé qu'on épargnerait la noyade sous la ligne à ces pèlerins du Nord, lorsque leur navire se serait fondu dans la zone de feu.

Armé de bonnes carabines et de haches d'abordage, muni de gaffes et de cordages, on poussa vers l'iceberg à force d'avirons, tandis que l'*Ariel* se mettait en panne au vent, en faisant tourner ses roues en sens inverse. Cette manœuvre était indispensable pour n'être pas drossé par le courant, quelque faible qu'il fût. — En abordant l'îlot voyageur, il fallait les plus grandes précautions, tant le frottement du poids de cette masse avançant à peine était à redouter; sa hauteur était de 40 mètres, sa longueur de 60 et sa largeur de 15. Ainsi, deux fois ce volume devait être sous l'eau pour le maintenir en équilibre. Si la mer eût été seulement houleuse, il eût été très-dangereux de tenter ce débarquement.

Pendant que le contre-maître, qui commandait l'embarcation, gouvernait avec autant d'habileté que de prudence, nos chasseurs océaniens comptèrent *sept énormes ours blancs*, trois femelles et quatre mâles, occupés à regarder avec une apparente anxiété l'approche du canot. — Leurs robes d'un éclat de neige, leurs museaux noirs, entr'ouverts et d'où pendaient des langues écarlates, se détachaient sur le fond verdâtre et luisant de l'iceberg. Le regard était d'une férocité latente mêlée de cet air bonnasse particulier à la gent oursine en général, et qu'accompagne un perpétuel balancement de tête qui rappelle celui des magots de plâtre. Leur calme et le volume de leurs membres paraissaient redoutables et semblaient dire : celui qui me manquera, je ne le manquerai pas.

On eût pu les tirer à la distance où l'on se trouvait, mais le sport eût été amoindri. Il y eût eu plus de sécurité, mais moins d'entrain. Pour de vrais cynégistes, le péril est le sel de la grande chasse. Et ces gentlemen voulaient en faire un événement complet et y attacher un souvenir durable.

Tout à coup les escouades de canards qui flottent sur les vagues, comme autant de petites galères antiques, se levèrent et prirent leur vol au-dessus du canot. Goëlands, fous, et courlis perchés sur le pic imitèrent cet exemple et se prirent à planer en criant autour des chasseurs et attirèrent leur attention.

En ce moment, soit aiguillonnés par la faim, soit par instinct des avantages d'un combat naval, les ours se jetèrent à l'eau pour aborder le canot qui était à deux longueurs d'aviron de la banquise.

On ne voyait que les têtes et l'extrémité des pattes qui battaient l'eau. Chaque chasseur choisit sa bête. Les assaillants avançaient presqu'en rang. A un signal donné on fit feu. Mais un seul fut atteint à la gueule, et ce blessé ne continua pas moins à nager. Ce fut tout ce qu'on put faire que d'avoir le temps de recharger quand les ours atteignirent le côté de l'embarcation.

Plusieurs y appuyèrent leurs larges pattes comme s'ils eussent voulu l'escalader, au point de la faire dangereusement pencher.

Cette fois ils présentaient à découvert une partie du poitrail outre la tête. La fusillade à bout portant les accueillit vaillamment. Trois furent tués et coulèrent pour remonter quelques instants après. Un eut le bras coupé d'un coup de hache d'abordage. Il lâcha prise et se mit avec les survivants à regagner la banquise. — Aussitôt les rameurs par un suprême effort les devancèrent et les chasseurs débarquèrent au moment même où les ours grimpaient les bords pour les attaquer. Le manchot n'était pas le moins ardent, quoiqu'il perdît beaucoup de sang.

L'ours polaire, moins combatif que son congénère noir ou brun des régions plus méridionales, devient intrépide et féroce quand il se sent attaqué à outrance. Ceux-ci se jetèrent avec fureur sur leurs ennemis en ébranlant les airs de leurs hurlements. — Mais, malheureusement pour les fourrures blanches, nos chasseurs étaient trop bien armés, et au moment où, debout de toute leur hauteur, elles étendaient les membres pour les étreindre, les balles leur arrivaient en pleine poitrine et à la gorge. Les gaffes

des marins leur perçaient le ventre et les haches leur ouvraient le crâne. — Pourtant un des chasseurs fut précipité dans la mer, mais il put saisir le gouvernail et s'en aider pour monter dans le canot.

Il ne restait que deux des sept ours. Un se mit à l'eau pour tâcher de se sauver de ses meurtriers, mais un inexorable projectile l'atteignit en route et il périt d'épuisement; l'autre escalada le pic, se croyant à l'abri de toute attaque. Vaine retraite ! Pendant qu'il regardait les chasseurs en se livrant à un grognement plaintif, il fut naturellement question de le faire taire et descendre de son aire. Mais un matelot demanda qu'on lui abandonnât cette bête, qu'il voulait s'approprier. On y consentit. En vrai *Yankee* il ne voulait pas retourner de l'expédition sans un profit quelconque : il voulait prendre son ours. — Alors commença un nouvel épisode de cette chasse qui ne manquait pas d'originalité. Le matelot fit avec soin un nœud coulant comme le marin seul sait le faire, avec un point d'arrêt qui devait prévenir la strangulation. A l'aide de deux gaffes il fit l'ascension du pic, approcha de l'ours étonné, et soudain lui lança son lasso au cou. Pris, l'animal se débattit en vain contre tous les bras robustes qui le tiraient en bas. Il y arriva et fut sur-le-champ muselé avec un filet rapidement façonné. Se voyant paralysé, l'ours devint humble et soumis. On l'embarqua dans le canot pour être fort bien vendu à Southampton à un amateur.

Arrivés à bord de l'*Ariel*, les chasseurs se remirent en route, laissant la banquise dépeuplée continuer son voyage tropical, comme une carcasse de navire abandonnée de son équipage !

J. L. (pionnier).

PHÉNOMÈNES ERRATIQUES

EN AMÉRIQUE[1].

Introduction.

M. Agassiz a fait paraître, il y a quelques mois, un volume contenant la description du Lac supérieur (Amérique). — La première partie de cet ouvrage, rédigée par **M. Cabot,** est une narration descriptive du voyage, entremêlée de résumés scientifiques, dans lesquels le professeur **Agassiz** exposait chaque soir à ses compagnons de route les observations de la journée.

La seconde partie est l'œuvre du savant naturaliste lui-même, qui nous initie aux recherches variées que son esprit investigateur et ses connaissances étendues lui ont permis de faire. Il s'occupe :

1° De la végétation du nord comparée à celles des Alpes et du Jura;

2° De la végétation de la rive septentrionale du Lac supérieur;

3° De la classification des animaux dans ses rapports avec leur développement embryonnaire et avec leur histoire paléontologique[2];

4° Des reptiles du Lac supérieur;

5° Des poissons de ce même lac comparés à ceux des lacs canadiens.

Quelques études de détail relatives à d'autres animaux, tels que des coléoptères et des lépidoptères, une nomenclature de coquilles accompagnée de la description des espèces nouvelles et quelques mots sur les oiseaux du Lac supérieur sont encore dus à ses compagnons de voyage. Les deux derniers chapitres traitent de la con-

[1] D. A. Extrait des *Archives des sciences physiques et naturelles de Genève. Phénomènes erratiques dans les environs du Lac supérieur* (*Amérique*), extrait de l'ouvrage ayant pour titre : *Lake superior*, par **Louis Agassiz.** Boston 1850, in-8°.

[2] Voy. *Archives*, t. XV, p. 190.

figuration du lac et des nombreuses mines de cuivre placées sur ses bords. Ce volume contient huit planches figurant divers animaux nouveaux, une carte du Lac supérieur et plusieurs jolies vues.

Nous arrivons enfin au fragment dont nous donnons la traduction; c'est la description du phénomène erratique dans le nord de l'Amérique et particulièrement sur les bords du Lac supérieur. Cette partie de l'ouvrage nous a paru offrir un intérêt particulier en ce qu'elle se rattache à cette théorie du transport des blocs erratiques par les glaciers, au développement de laquelle **M. Agassiz** a si puissamment contribué, et qui, depuis plus de douze ans, est le sujet de discussions animées entre les géologues éminents. Il est remarquable aussi de voir comment ce savant qui, pendant longtemps, n'a étudié le phénomène erratique qu'en Europe, se confirme dans son opinion en étendant le champ de ses recherches.

Cette théorie, à laquelle il a été initié par **M. de Charpentier**, avait été conçue d'après l'observation de faits pour ainsi dire locaux; maintenant **M. Agassiz** a porté ses recherches dans les contrées les plus variées: il a exploré le nouveau monde; il y a étudié le phénomène erratique du nord, qui est la pierre angulaire du système des *diluvianistes*, et loin d'être ébranlé dans sa conviction, nous le voyons au contraire s'y affermir toujours plus. Toutes ses nouvelles observations ont été pour lui autant de preuves qui sont venues appuyer ses idées théoriques et lui ont permis de les généraliser en les étendant des faits locaux aux phénomènes erratiques de l'Ancien et du Nouveau-Monde.

Phénomène erratique en Amérique.

A. 1. Depuis quinze ans on a déjà tant parlé et tant écrit sur la dispersion des blocs erratiques et sur celles du diluvium, soit en Amérique, soit en Europe, que je n'aurais pas entrepris de publier quelque chose de nouveau sur ce sujet, dit le professeur **Agassiz**, si je n'avais eu le désir de faire connaître quelques observations nouvelles et importantes.

Ceux qui ont suivi les discussions relatives au mode de transport des matériaux erratiques, voudront bien remarquer que toutes les recherches qui s'y rapportent sont dues aux géologues partisans de la théorie de l'ancienne extension des glaciers, tandis que ceux qui regardent les courants comme la cause de ce transport ont adopté un rôle négatif; c'est-à-dire qu'ils se bornent à nier la nou-

velle théorie et ses conséquences, plutôt qu'ils ne cherchent à éclairer leur opinion et à l'appuyer sur de nouvelles observations[1].

Je crois pouvoir insister sur cette différence sans risquer d'être taxé de partialité. En effet, depuis la publication du mémoire de **Seftstrœm** sur le diluvium, dans lequel il donne de précieux renseignements sur le phénomène erratique de la péninsule scandinave, et depuis les observations de **MM. de Verneuil** et **Murchison** sur le même pays et sur les plaines de la *Russie*, terrain classique du phénomène erratique, ce sujet n'a été traité que par des *glaciéristes*.

A. 2. Pour justifier cette assertion, j'indiquerai les travaux de **MM. de Charpentier, Escher von der Linth** et **Studer**, les études étendues et minutieuses de **M. Guyot**, mes propres recherches et celles des géologues étrangers à la Suisse, tels que **MM. Martins, J. Forbes** etc.; tandis qu'aucun fait important relatif au transport des matériaux erratiques en Suisse n'a été indiqué par les *diluvianistes* depuis les recherches de **de Saussure**, de **de Luc**, d'**Escher** et de **Buch.**

Aucun fait important relatif au transport des matériaux erratiques en Suisse n'a été indiqué par les diluvianistes, depuis les recherches de de Saussure, de Luc, d'Escher et de Buch.

A. 3. M. le professeur **Guyot** a montré de la manière la plus évidente que les bassins erratiques de la Suisse sont non-seulement distincts les uns des autres, ce qui avait déjà été entrevu; mais encore que dans chacun de ces bassins les matériaux erratiques sont arrangés dans un ordre régulier, bien déterminé, en relation avec les centres de distribution d'où ils ont été enlevés. Il a prouvé, en outre, que cet arrangement est semblable à celui des fragments dispersés à la surface des glaciers, et qu'aucune cause agissant d'une manière convulsive ne peut avoir produit ce mode de distribution[2].

Dans chaque bassin erratique de la Suisse, les matériaux erratiques sont arrangés dans un ordre régulier bien déterminé, en relation avec les centres de distribution d'où ils ont été enlevés.

Il résulte des recherches des divers savants que nous avons nommés, que les blocs trouvés à une grande distance des Alpes centrales proviennent également des vallées et des sommets les plus élevés de cette chaîne; qu'ils ont été transportés successivement et qu'ils

[1] D. A. Un grand nombre de géologues ne veulent pas voir et d'autres n'osent pas voir.

[2] La comparaison des cartes indiquant l'arrangement des moraines sur les glaciers de l'Aar, publiées dans mon système glaciaire, avec la carte que M. le professeur **Guyot** va publier sur la distribution des blocs erratiques en Suisse, montrera d'une manière très-claire l'identité des deux phénomènes.

forment des espèces de digues ou moraines non interrompues depuis leur point de départ jusqu'à leur distribution périphérique extrême.

Mêmes faits dans les îles britanniques, dans les Pyrénées et la Forêt-Noire.

A. 4. J'ai fait connaître des centres de distribution semblables en *Écosse*, en *Angleterre* et en *Irlande*. Depuis lors le docteur **Buckland**, sir **Charles Lyell**, **MM. Darwin**, **M. Lachlan** et le professeur **G. D. Forbes** etc. ont fait de nouvelles observations dans différentes parties des *îles Britanniques*, et ont démontré que les principaux groupes de montagnes sont autant de centres locaux de dispersion d'où sont partis les matériaux erratiques.

Des faits analogues ont été observés dans les *Pyrénées* et dans la *Forêt-Noire;* ainsi donc, quelle que soit la cause de la dispersion des blocs erratiques, nous devons reconnaître qu'ils ont en Europe plusieurs centres de dispersion distincts les uns des autres.

Il y a encore une autre question relative à la distribution locale des blocs, sans l'étude de laquelle on ne saurait faire des progrès réels dans cette partie de la science.

Blocs de la Russie, la Pologne, l'Allemagne, la Hollande, la Belgique, provenant des pays les plus septentrionaux, de la Norwége, Suède, Laponie et Livonie.

A 5. On sait que l'Europe septentrionale est parsemée de blocs s'étendant sur la *Russie*, la *Pologne*, l'*Allemagne* septentrionale, la *Hollande* et la *Belgique*, et provenant des pays les plus septentrionaux de l'Europe, tels que la *Norwége*, la *Suède*, la *Laponie* et la *Livonie*. Ils sont répandus dans les immenses plaines à l'ouest des *monts Oural*, et leur distribution est telle qu'il est difficile de leur attribuer un seul et même point de départ; mais ils proviennent incontestablement des pays situés dans les régions arctiques.

Ces blocs ont-ils été transportés par le même agent que ceux qui sont sortis des centres locaux épars à la surface de l'Europe?

A. 6. Ces blocs ont-ils été transportés par le même agent que ceux qui sont sortis des centres locaux épars à la surface de l'Europe? Telle est la question sur laquelle nous devons nous arrêter quelques moments. La principale objection à la théorie du transport des blocs erratiques alpins par les glaciers est venue de ce que nos études nous ont conduit à adopter cette même théorie pour expliquer le transport des blocs erratiques du nord. De leur côté, ceux qui regardent la distribution de ces blocs comme plus facile à expliquer, au moyen des courants, ont trop abondé dans leur sens. Ils font intervenir cette action dans des localités où les glaciers donnent évidemment l'explication la plus naturelle et la plus satisfaisante du phénomène.

A. 7. Pour embrasser la question dans tout son ensemble, il faut savoir, en premier lieu, si les erratiques du nord ont été transportés à la même époque que les blocs alpins, et, dans le cas où ces deux phénomènes n'auraient pas été contemporains, lequel est antérieur à l'autre.

Les erratiques du nord ont ils été transportés à la même époque que les blocs alpins ?

A. 8. Il faut rechercher encore si le même agent a été employé dans les deux phénomènes erratiques, ou si chacun a eu son agent particulier. L'examen du phénomène erratique du *nord de l'Amérique* nous paraît décider la question, car il occupe une bien plus grande étendue qu'en *Europe*. Je l'ai déjà suivi depuis le bord oriental de la *Nouvelle Écosse*, en traversant la *Nouvelle Angleterre*, les *États du nord-ouest de l'Amérique* et le *Canada*, jusqu'à l'extrémité occidentale du *Lac supérieur*, ce qui embrasse une région d'environ 30 degrés de longitude.

Le même agent a-t-il été employé dans les deux phénomènes erratiques ?

A. 9. Certains renseignements nous permettent de croire que le phénomène se prolonge encore plus à l'ouest dans toute l'étendue du *continent américain*, et partout la nature des blocs indique évidemment qu'ils proviennent des régions septentrionales, comme ceux disséminés dans le *nord de l'Europe*. Les blocs disparaissent, en général, à environ 38 degrés de latitude.

Les erratiques à l'ouest du continent américain proviennent des régions septentrionales comme ceux disséminés dans le nord de l'Europe.

Il nous semble que, pour qu'une théorie du phénomène erratique soit satisfaisante, elle doit pouvoir s'appliquer également au grand phénomène erratique du nord et aux phénomènes plus locaux de l'Europe centrale.

A. 10. Voyons maintenant si l'Amérique présente, comme l'Europe, des centres spéciaux de distribution. Il semblerait, d'après quelques faits observés dans les *Montagnes blanches*, que cette chaîne, ainsi que les montagnes du nord-est de l'État de *New-York*, n'ont pas été soumises à l'influence du transport des matériaux erratiques aussi longtemps que les autres régions de l'*Amérique du Nord*. Quoi qu'il en soit, je maintiens que la cause qui a transporté ces blocs dans le continent américain doit avoir agi simultanément sur toute l'étendue que ces blocs recouvrent, puisqu'ils forment à travers le continent une couche non interrompue de matériaux de même nature, distribués et amoncelés d'une manière semblable et évidemment dispersés à la même époque. Je dirai, en outre, qu'il n'y a aucun motif de douter de la dispersion simultanée des blocs erra-

L'Amérique présente-t-elle des centres spéciaux de distribution ?

forment ... le nord de l'Europe. I
puis l... simultanément sur tout l'e
trêm... à l'est des *Montagnes r*
A... ale, qui n'est pas enco
É... cette cause s'est étendu

Mêmes faits dans les îles britanniques, dans les Pyrénées et la Forêt-Noire.

... développée doit avoir ét... qu'après avoir été mis... puissance suffisante pour... immense étendue de pays... même en atteignant le 3... les mathématiques doivent... été mis en mouvement ave... des effets si gigantesques... la surface entière du globe.

...graphie de la terre, sur le... leur puissance, leur distributio... sur cette grande question. Le... les deux hémisphères et qui s... inférieures, n'occupent que l... dû recouvrir les anciens cou... blocs erratiques par les eaux... actuels est dans la partie occi... l'Orient en Occident parallèle... toute l'étendue de cette mer. S... degrés. Il est alimenté par le... qui viennent du détroit de Beh... rique. Il met en communication... eaux des pôles et celles des autres

... se dirige de l'ouest à l'est, et se... de l'Afrique. Les eaux qu'il en... qui viennent de la mer de Baffin... rencontrent des continents... poursuivent leur route en se dé... sur des centaines de degrés de...

A. 12. Après ce court exposé je m'adresse aux hommes qui ont étudié sans prévention la distribution des *blocs erratiques du nord*, et je leur demande s'il a jamais existé de barrière capable de limiter les prétendus courants auxquels on veut attribuer le transport de ces blocs, et de les leur faire déposer dans un ordre aussi remarquable que celui qu'ils présentent dans le *nord de l'Europe*. Leur direction du nord au sud y est constante. Ils s'arrêtent au midi, au 50e degré de latitude, en laissant entre l'espace qu'ils couvrent et la grande barrière des Alpes une zone où ils n'ont pas pénétré.

Les courants d'eau n'ont pas pu distribuer les blocs.

On ne trouve également aucune barrière semblable dans les plaines immenses qui s'étendent des mers arctiques au golfe du Mexique, et si les blocs erratiques devaient leur transport aux courants, pourquoi seraient-ils limités aux régions septentrionales de la zone tempérée? Cette étonnante circonscription, qui est la même dans l'hémisphère méridional, ne démontre-t-elle pas évidemment que la cause du transport est liée aux températures et aux climats des pays dans lesquels le phénomène s'est reproduit? S'il en était autrement, les systèmes de blocs erratiques auraient une direction est et ouest, en rapport avec celle des grands courants marins de l'époque actuelle.

Un fait incontestable, dont la théorie doit tenir compte, c'est que la distribution générale des *blocs erratiques* est en rapport direct avec les régions polaires, et qu'elle est circonscrite dans les portions les plus froides des zones tempérées. Il est également vrai que la distribution locale des blocs est en rapport avec les chaînes de hautes montagnes et avec les massifs de terre fortement élevés au-dessus du niveau de la mer, dont la température est inférieure à celle des plaines environnantes; en outre, les blocs qui ont une distribution locale atteignent dans leur extension des niveaux dont la température moyenne annuelle correspond d'une manière surprenante avec celle de la limite méridionale des erratiques du nord.

A. 13. Ne doit-on pas trouver dans cet accord une forte présomption en faveur de l'opinion qui attribue à une même cause les deux phénomènes erratiques: celui du nord en Amérique et en Europe, et celui qui est restreint à certains groupes de montagnes?

Les mêmes causes ont produit les phénomènes erratiques au nord en Amérique et en Europe, et celui qui est restreint à certains groupes de montagnes.

La principale difficulté de la théorie est d'expliquer la formation d'une couche de glace assez grande pour transporter les blocs

erratiques du nord jusqu'aux limites de leur distribution actuelle, mais cette explication est facilitée par le fait observé dans les Alpes, où l'on voit des traînées de blocs ayant le même aspect qui s'étendent des glaciers actuels jusque dans les régions où les glaciers n'existent plus, mais où les blocs et d'autres phénomènes attestent positivement leur ancienne présence.

L'eau ne dispose pas les blocs qu'elle charrie en moraines régulières.

A. 14. Je terminerai cette argumentation en faisant remarquer que les diluvianistes n'ont jamais tenté de prouver que les courants puissent reproduire les différents phénomènes qui sont toujours liés dans les Alpes, au transport des blocs, et qui sont encore de nos jours le résultat des petits glaciers qui y existent. Au contraire, on n'a jamais observé que l'eau dispose les blocs qu'elle charrie en *moraines* (*walls*) régulières, composées de matériaux de grosseur variée, ni que les courants aient jamais produit sur les roches dures *in situ*, les *raies* et les *marques* que nous voyons partout sous les glaciers et dans les limites de leurs oscillations ordinaires.

L'action de l'eau sur les roches est bien différente de l'action des glaciers sur ces roches.

A. 15. L'eau peut polir les roches, mais elle ne laisse pas à leur surface des marques en ligne droite; elle peut les sillonner, mais ces sillons sont sinueux; elle agit plus puissamment sur les parties tendres des roches et dans les fissures déjà existantes, tandis que les glaciers, en *polissant et nivelant uniformément les parties les plus dures, comme les plus tendres*, usent les surfaces des roches et les rendent parfaitement unies.

Phénomènes erratiques dans l'Amérique du nord.

A. 16. Revenons maintenant à notre sujet spécial, le *phénomène erratique dans l'Amérique du Nord.*

Le *diluvium* est plus compliqué dans les environs du *Lac supérieur* que dans d'autres régions, la présence du lac lui ayant fait subir des modifications qu'on ne peut remarquer dans les contrées où des grandes étendues d'eau ne se sont pas trouvées en contact avec le phénomène erratique. Nous y voyons, en premier lieu, une grande étendue de *roches polies, sillonnées* et *striées*, semblables à ce qu'elles sont partout ailleurs.

Comme les géologues ont en général peu de dispositions à observer les faits tels qu'ils sont quand il s'agit du diluvium, je répéterai ce que j'ai déjà dit, et ce que j'ai encore observé ici sur un espace de quelques centaines de milles, c'est que les roches sont partout *polies*, *arrondies*, *rayées et sillonnées* dans une même direc-

ion. Les matériaux hétérogènes qui constituent ces roches sont nivelés d'une manière uniforme et continue.

Ainsi donc la dureté plus ou moins grande des matériaux qui les forment n'a apporté aucune différence dans leur usure et dans leur poli, mais le frottement continu, auquel elles ont été soumises, a enlevé toute aspérité, en se conformant cependant sur les ondulations générales du sol et en montrant, dans cette sorte de moulage, une continuité très-remarquable.

Toutes les collines ont un côté choqué et un côté préservé.

A. 17. La direction nord-sud de l'agent qui a produit ces phénomènes est indiquée d'une manière positive par la forme des collines qui offrent des pentes abruptes et des angles vifs du côté du sud, et des formes arrondies du côté du nord; par conséquent, ici, comme en *Norwége* et en *Suède*, toutes les collines ont un *côté choqué* et un *côté préservé*[1].

Poli aussi brillant qu'une surface métallique, strié et sillonné dans la même direction.

A. 18. Le *poli* est aussi parfait et aussi brillant à plusieurs endroits que celui d'une surface métallique, et partout les surfaces polies sont plus ou moins *striées* et *sillonnées*.

Les stries et les sillons sont rectilignes, ils se croisent les uns les autres sous des angles divers. Cependant leur direction ne varie jamais beaucoup dans un même endroit. La manière dont elles sont tracées montre en général que les déviations de la direction principale tiennent à l'influence de la configuration du sol.

J'ai dit que cette direction principale est du nord-ouest et sud-est; cependant je l'ai trouvée souvent aussi du nord au sud et même du nord-est au sud-ouest. Le résultat général de mes observations sur les *stries* est qu'elles ont été formées sous l'influence d'un mouvement dirigé du nord au sud, mais qui varia plus ou moins à l'est et à l'ouest, suivant les influences locales du sol. Il est remarquable de voir les *stries* qui semblent avoir été produites presque en même temps, n'être pas absolument parallèles, mais de diverger de dix, de quinze et même d'un plus grand nombre de degrés.

Ce fait présente un caractère dans lequel il n'y a jamais de variations, c'est la continuité des stries, qui est partout absolument la même; elles sont rectilignes, continues et ne peuvent mieux être comparées qu'à l'effet produit par des pierres ou d'autres matériaux

[1] D. A. *Stossseite* et *Leeseite*.

durs traînés dans une seule direction sur des surfaces plates ou ondulées. Ces *stries* forment des lignes longues de plusieurs yards[1], cessant sur de courts espaces pour continuer plus loin en ligne droite dans la même direction, comme si elles avaient été interrompues par un saut.

Stries profondes. Rainures.

A. 19. On remarque aussi des *stries* plus profondes, qui conservent les mêmes caractères; seulement on peut les suivre à une distance plus grande que celles qui sont plus fines. Ces *stries*, au lieu d'avoir l'aspect de la raie du diamant sur le verre, comme les premières, ont plutôt l'apparence d'une *rainure* plus profonde faite par la pointe d'un graveur. Elles rappellent mieux encore la trace qu'une roue de char en mouvement produirait sur un marbre poli, si elle était enrayée et qu'on eût placé du sable à la surface du marbre.

L'aspect des roches calcaires qui ont été soumises à ce phénomène est différent, les raies y sont rarement franches, mais elles présentent l'apparence que produirait une forte pression prolongée dans uue certaine direction, et offrent un caractère particulier qui frappe l'observateur habitué à ce genre d'étude.

Le gravier entraîné par l'eau ne produit point de stries.

A. 20. Je ne puis comprendre sur quoi se base l'opinion des géologues qui prétendent que du gravier entraîné par l'eau peut produire de semblables effets lorsqu'il est soumis dans une eau courante à une forte pression[2]. Quoique j'aie beaucoup recherché de pareilles observations, je n'ai jamais pu voir que les graviers charriés par les courants aient produit autre chose que des surfaces arrondies, présentant des sillons ondulés qui suivent les crevasses des roches ou qui sont creusés dans leurs parties les plus tendres.

[1] Un yard = 0m,914.

[2] D. A. **E. Collomb** a prouvé par l'expérience faite sur des fragments de roches et des galets striés, rayés, mis en contact d'une eau agitée, tenant du sable fin et gros en suspension, efface ces stries en usant la surface et la polissant lisse et unie.

H. Hogard et **Dollfus-Ausset** ont observé dans l'Aarboden, à 2 kilomètres en aval de la pente terminale du glacier de l'Unteraar, la confirmation des faits rapportés par **E. Collomb.** — Sur une paroi de granit *poli*, *rayé* par les glaciers, sur la partie qui est au-dessus de l'eau du torrent, et qui n'a jamais été atteinte par l'eau tenant la boue glaciaire en suspension, on lit parfaitement les hiéroglyphes glaciaires qui sont distinctement tracées, burinées. Dans les parties atteintes par les eaux nous voyons les stries et petites raies effacées et la roche unie, comme celles dont sont encaissés les torrents qui les baignent.

Jamais ils n'ont produit de lignes droites continues ou de sillons rectilignes.

Les surfaces polies et les stries ne peuvent être produites que par les glaciers.

A. 21. Nous connaissons l'action de l'eau qui transporte la boue, le gravier ; nous la voyons sur tous les rivages et dans tous les courants d'eau ; nous pouvons suivre cette action presque partout et nous ne la trouvons nulle part semblable au phénomène décrit. Je ne puis donc concevoir d'après quelles données on veut encore attribuer ces phénomènes à l'action des courants ; c'est l'explication la moins rationnelle que nous ayons jusqu'à présent, puisque dans toutes les chaînes de hautes montagnes de la zone tempérée, d'autres agents, c'est-à-dire les glaciers, produisent les mêmes phénomènes avec des caractères semblables. Il semble donc qu'une saine philosophie devrait rapporter, au moins provisoirement, les *surfaces polies*, les *roches sillonnées* et *striées* alpines, ainsi que celles du nord à l'action des glaciers. Elle devrait faire admettre que les effets produits par cet agent ressemblent beaucoup plus aux phénomènes erratiques que ceux qui résultent de l'action des courants. Mais malheureusement un grand nombre de géologues distingués ne peuvent renoncer à leurs préjugés lorsqu'ils s'occupent du phénomène erratique, et semblent être abandonnés dans l'étude de cette question de l'*esprit de supériorité qui est leur apanage*.

L'objection d'un vénérable géologue, qui prétend que la seule idée du froid nécessaire pour former et conserver des glaciers d'une si grande étendue, le gèle jusqu'à la mort, n'est qu'une plaisanterie ; il pourrait craindre avec autant de raison que les immenses courants de l'Océan, dont il voit l'action partout, ne vinssent l'engloutir.

Maintenant que ces phénomènes ont été observés d'une manière générale, nous pouvons en tirer quelques renseignements utiles en examinant leurs limites géographiques.

Roches striées, sillonnées.

A. 22. *Voyons donc où ces roches polies, striées et sillonnées ont été observées.* Elles se trouvent partout dans le cercle arctique et dans les parties les plus froides de la zone tempérée. Dans l'hémisphère sud elles sont comprises dans les limites semblables, et on n'en trouve aucune trace dans les parties plus chaudes de la zone tempérée ; cependant il n'y a pas de raison pour que l'action

des courants n'ait pas agi dans ces régions aussi bien que dans les climats plus froids. Il est vrai que cette règle paraît au premier coup d'œil offrir des exceptions, et que des phénomènes semblables s'observent dans la zone tempérée, en Europe, dans l'Asie centrale, et même dans les Andes de l'Amérique du Sud, mais ils s'y trouvent toujours dans des régions élevées, à des niveaux constants au-dessus de la surface de la mer, indiquant un rapport entre leur étendue et la température plus froide des localités dans lesquelles on les observe.

Des géologues ont attribué le phénomène erratique à des glaces flottantes.

A. 23. Récemment les géologues, en attribuant le phénomène erratique aux glaces flottantes, ont fait un pas vers l'opinion que je soutiens ; car dans leur théorie, comme dans la mienne, la glace est la puissance agissante ; mais ils supposent que les glaces flottantes ont nivelé et poli la surface des roches, tandis que je crois que ces surfaces ont été formées par des glaciers terrestres. Pour établir cette différence, nous avons un témoignage qui est aussi irrésistible que les autres arguments que j'ai déjà exposés. Examinons, en effet, le mode d'action et le mode de transport des glaces flottantes, et voyons si cette action est suffisante pour produire les phénomènes qui lui sont attribués. Comme je l'ai dit ci-dessus, les surfaces polies sont continues sur les collines et dans les dépressions du sol, et les stries dessinées sur ces surfaces ondulées sont également continues et en ligne droite.

Si nous supposons des glaces flottantes se mouvant sur des bas-fonds, elles strieront et poliront les roches sans aucun doute à la façon des glaciers. Mais sur un terrain inégal, semblable à celui que je viens de décrire, elles seraient tôt ou tard échouées, et si elles étaient de nouveau mises en liberté, elles produiraient, par leur mouvement circulaire, des lignes courbes et marqueraient de traces particulières les places où elles auraient été arrêtées.

Dans les régions arctiques nous ne trouvons aucun fait semblable ; les surfaces polies et striées y sont partout continues et en juxtaposition rectiligne. Ce n'est que sur les bords de la mer que l'on trouve des effets analogues à ceux produits par les glaces flottantes.

Pour que la théorie qui attribue l'*origine du diluvium* à ces glaces fût vraie, il faudrait trouver sur tous les continents des traces d'an-

cienne plage de mer, s'étendant aussi loin que le phénomène erratique lui-même. Or rien de semblable ne s'observe dans l'espace occupé par les blocs erratiques du nord, en Amérique, en Europe, en Asie, et nulle part, depuis le cercle arctique jusqu'à la limite méridionale de la distribution des blocs, nous ne trouvons de preuve que l'action de la mer ait été en rapport avec le phénomène erratique. Partout où les dépôts marins reposent sur des surfaces *polies* et *striées*, on peut prouver qu'ils n'ont été formés que depuis le *striage* et le *polissage* de roches.

Si nous considérons l'immense étendue de pays recouverte par le phénomène erratique, et que nous regardions ce phénomène comme étant un résultat de l'action des glaces flottantes, nous serons forcés de reconnaître que celles qui existent dans la période actuelle sont insuffisantes à l'expliquer, étant limitées à une zone trop restreinte. Pour qu'elles s'étendissent dans un espace aussi grand que celui qui est occupé par les blocs erratiques, il faut supposer que les *champs de glace du nord* dont elles se détachaient étaient infiniment plus considérables qu'ils ne le sont maintenant, c'est-à-dire que nous devons présumer que les deux pôles étaient recouverts de vastes calottes de glace. Ceci est la théorie que je soutiens, et, à moins que les partisans de celle des glaces flottantes ne l'étendent jusque-là, j'ose dire, sans crainte d'être contredit, que leur opinion est inadmissible, car ils n'ont aucun autre moyen d'expliquer l'origine de glaces flottantes assez nombreuses pour satisfaire à l'ensemble du phénomène erratique, tel qu'il est connu.

A. 24. Sans discuter davantage les vues théoriques de la question, je veux décrire minutieusement les faits que j'ai observés sur le bord septentrional du *Lac supérieur*. Les *surfaces polies* sont très-bien caractérisées : elles sont ondulées et se terminent toujours au-dessus du côté préservé tourné au sud, à moins que la pente de ce côté-là ne soit assez douce pour que la surface polie ne l'occupe de la même manière que la pente septentrionale.

Faits observés au Lac supérieur.

Les vallées peu profondes dirigées de l'est à l'ouest sont aussi uniformément *polies* que celles qui sont dirigées du nord au sud. Ce fait est très-évident là où les *stries* et les *sillons* sont bien conservés. Leur aspect peut servir à déterminer la direction du mouvement progressif de l'agent qui a produit l'ensemble du phéno-

mène. Dans les vallées qui ont cette direction, nous voyons les *stries* traverser sans interruption les ondulations à angles droits, descendre le long de la pente méridionale d'une colline, traverser le fond plat de la dépression et s'élever de nouveau sur la colline placée au sud. Des exemples de cette espèce se voient partout dans les étroits canaux occupés par les eaux peu profondes qui séparent les innombrables petites îles des rives septentrionales du Lac supérieur. Là les *stries* et les *sillons* peuvent être suivis sous les eaux d'un bord à l'autre, et on les voit parfois gravir des collines qu'ils traversent sans se détourner, quel que soit l'escarpement de leur versant.

Les stries et les sillons sont en général dirigés du nord au sud, ne déviant que très-légèrement de l'est à l'ouest; cependant en divers endroits ils présentent des anomalies remarquables, particulièrement le long du bord oriental du lac. Entre *Michipicotin* et *le Saut Sainte-Marie*, la direction, au lieu d'être du nord au sud, est en général déviée à l'ouest, tandis qu'elle est plutôt normale le long du bord septentrional proprement dit, entre *Michipicotin* et les autres îles, et dans l'espace compris entre le *pic* et le *fort William*. La grande profondeur du lac formant une vaste cavité, où la masse de glace s'était accumulée pendant longtemps, est sans doute la cause de cette déviation.

Nous attribuons le croisement des lignes à angles aigus aux oscillations que la masse de glace a éprouvées en s'avançant vers le sud, oscillations dont la cause se trouve dans l'inégalité de la surface du sol. Ce même fait s'observe maintenant sous les glaciers quand ils s'avancent et se retirent dans les vallées alpines dont le fond inégal leur crée des obstacles. Il est naturel de trouver de plus grandes déviations à la direction des *stries* dans certains défilés étroits et profonds, où de grandes quantités de glace ont dû s'accumuler et se mouvoir sous la double pression des parois latérales et des glaces arrivant du nord. Cette observation peut se faire entre *Spar Island* et la terre ferme opposée à *Prince Location*, au sud, et le *fort William*, où les stries et les sillons sont dirigés à peu près de l'est à l'ouest. Mais ici également la continuité du phénomène est toujours la même, ce qui n'aurait pas lieu si les masses de glace avaient flotté et avaient été repoussées contre la rive méridio-

nale. En effet, les surfaces polies avec leurs stries et leurs sillons continuent là comme partout ailleurs. Les angles que les stries forment les unes avec les autres sont tous aigus; ils ne dépassent pas en général 10 degrés, rarement ils sont de 15, de 20 et de 25 degrés.

Dans quelques localités j'ai trouvé ces *stries* se coupant sous des angles de 30 degrés, mais ce sont de rares exceptions. L'on voit quelquefois un système de lignes presque exactement parallèles entre elles, courant dans une certaine direction, traverser un autre système de lignes également parallèles les unes aux autres. D'autres fois un système de raies fortement tracées et presque parallèles semble passer sur un autre système composé de lignes formant entre elles des angles variés. Enfin, dans quelques endroits, et ce sont les plus nombreux, les lignes, sans être parallèles, présentent cependant une direction principale et sont croisées par d'autres lignes moins nombreuses, qui forment des angles plus ouverts. Ces différences indiquent sans aucun doute plusieurs oscillations dans le mouvement de la masse qui a produit ces lignes, et dénotent probablement une action variant d'intensité et s'exerçant sur un même point à des époques successives. Nous voyons encore aujourd'hui des variations semblables sur les bords des glaciers, causées par l'augmentation ou la diminution de la masse de glace et par les changements qui ont lieu dans sa marche [1].

Les matériaux erratiques qui, sous la pression de la glace, ont donné aux roches un semblable *poli* et y ont creusé des *sillons*, étaient des blocs de dimensions variées, de petits cailloux et des graviers, ainsi que des sables, et même de la poussière de roche très-fine.

De semblables matériaux se trouvent partout sur ces *surfaces usées*, et dans leur arrangement ils présentent le contraste le plus frappant avec les dépôts accumulés par l'action de l'eau. Il est vrai que nulle part on ne trouve le *diluvium glaciaire* régulièrement stratifié; partout il est composé de matériaux dispersés et éparpillés

[1] D. A. Des observations positives nous disent que les glaciers progressent dans tous les sens, suivant leur masse. Cette progression est d'autant plus grande que le volume, surtout en épaisseur, est plus considérable, et par ce motif, les stries ne seront pas parallèles entre elles.

au hasard et sans triage ; les roches les plus dures associées aux roches les plus tendres forment des amas tantôt grands, tantôt petits, où elles sont entassées pêle-mêle ; les blocs les plus gros occupant indistinctement le sommet, le centre ou la base, en étant irrégulièrement mêlés aux petits cailloux et aux sables impalpables.

Ces matériaux eux-mêmes sont *polis*, *striés* et *sillonnés*, et les *stries* et les *sillons* sont rectilignes comme ceux des roches *in situ* sur lesquelles ils reposent. Ils ne sont pas seulement *frottés* comme les matériaux charriés par les courants ou apportés contre les rivages par les marées, mais ils sont régulièrement *striés* comme des substances dures le seraient si elles étaient fixées et frottées les unes contre les autres. C'est précisément ce que nous trouvons à la surface inférieure des glaciers, où tous les matériaux disséminés sont enchâssés dans la glace et sont *frottés* et *usés* contre les roches sous-jacentes. Mais cet entourage n'est ici que la glace, et ces matériaux disséminés y étant fixés, puis détachés pour y être ensuite attachés de nouveau et libérés plus tard, et cela à plusieurs reprises, ont été *frottés* contre les roches sous-jacentes dans toutes les positions possibles. C'est de là qu'est venue non-seulement leur forme *arrondie*, mais aussi leurs *stries rectilignes* en divers sens. Comment de telles *raies* auraient-elles pu être produites par l'action des courants ? Je laisse aux partisans de cette théorie le soin de le démontrer dès qu'ils le pourront.

Tous les blocs erratiques du nord sont arrondis, striés et polis.

A. 27. Je n'omettrai pas de mentionner ici un fait qui, dans mon opinion, a une grande importance, c'est que *tous les blocs erratiques du nord*, même ceux du plus grand volume, *sont arrondis*, *striés* et *polis*. Cet aspect se retrouve dans tous ceux qui ne sont pas dans le voisinage immédiat des hautes montagnes, ce qui prouve que les accumulations de glace qui ont mis en mouvement les blocs erratiques du nord ont couvert la totalité du pays. Cette opinion est appuyée par une autre série de faits également importants, savoir : que les chaînes les plus élevées et les montagnes les plus accidentées, du moins en Amérique, et celles qui sont situées au nord des Alpes, en Europe, sont aussi *polies* et aussi *striées* que la surface des pays placés à un niveau plus bas. Il n'y a qu'un très-petit nombre de points qui paraissent avoir été placés au-dessus de la couche de glace. Dans les Alpes, au contraire, les sommets des

montagnes sont restés généralement[1] au-dessus de son niveau et ont fourni à la surface du glacier un grand nombre de blocs anguleux, qu'il a charriés jusque dans les vallées inférieures et dans les plaines adjacentes sans leur faire perdre leurs formes angulaires.

Les matériaux erratiques dans le nord ne sont jamais stratifiés; ils ont une origine terrestre et sont transportés par les glaciers et non par des courants d'eau.

A. 28. En considérant l'accumulation irrégulière des matériaux diluviens dans le nord, je fais remarquer que non-seulement ils n'offrent aucune trace de stratification, mais encore que la nature de ces matériaux montre de la manière la plus évidente qu'ils ont une origine terrestre; en effet, la *boue* qui les enveloppe est attachée à toutes les petites rugosités des cailloux et en remplit les moindres anfractuosités; elle présente le caractère adhésif particulier aux boues placées sur les glaciers et diffère entièrement à cet égard des graviers, des cailloux et des sables lavés par les courants d'eau qui laissent chaque caillou parfaitement net et ne forment jamais de masses adhérentes, à moins qu'ils ne soient pénétrés d'une infiltration calcaire.

Absence des fossiles marins ou d'eau douce dans le diluvium glaciaire.

A. 29. L'absence des fossiles marins ou d'eau douce dans le diluvium glaciaire, éloigné des portions littorales des continents, est un autre fait important qui nous confirme dans l'idée que ce terrain a été formé par des glaciers complétement terrestres; mais ces glaciers ayant atteint sur différents points le bord de la mer à l'époque de leur plus grande extension, comme on le voit encore au Spitzberg et sur les rivages des mers arctiques, il en est résulté des effets de contact dépendant du mouvement des marées et de celui du glacier dans la mer. C'est pourquoi l'on trouve dans quelques amas de diluvium de faibles traces qui indiquent que l'action de la marée a atteint la surface inférieure du glacier, et dans quelques localités on peut voir que les matériaux glaciaires ont été remaniés par les eaux. Un exemple remarquable de ce fait s'observe près de *Cambridge*, le long du *Charles River*, non loin du mont *Auburn*. On voit dans cette localité le diluvium glaciaire sans stratification présenter dans sa masse supérieure les caractères des dépôts formés par les glaciers terrestres, et dans sa partie inférieure des indices de l'action des marées. Au-dessus on observe des couches régulières dues à l'action de la marée et formées probablement après

[1] D. A. A une certaine époque.

que les masses inférieures s'étaient abaissées. La surface de cette accumulation est recouverte de terre végétale.

Il est difficile de déterminer quand ces phénomènes ont eu lieu.

A. 30. Il est diffficile de déterminer exactement la période pendant laquelle ces phénomènes ont eu lieu; on ne peut affirmer non plus que tout le diluvium glaciaire soit contemporain; cependant il est permis de croire que les immenses dépôts de diluvium qui se trouvent autour du pôle nord, soit en Europe, soit en Amérique, sont du même âge que le terrain erratique des Alpes, et que les circonstances climatologiques capables d'accumuler de si grandes masses de glace autour du pôle nord ont étendu leur influence sur la zone tempérée et ont produit dans les hautes chaînes de montagnes, telles que les Alpes, les Pyrénées, la Forêt-Noire, les Vosges et autres, des accumulations de neige et de glace assez grandes pour donner naissance au phénomène erratique de ces contrées.

Les dépôts fossilifères reposant sur le terrain erratique, qui se voient soit dans l'ancien monde, soit dans le nord de l'Amérique, prouvent que de grands changements ont eu lieu dans le relief des continents, depuis la formation de ces terrains.

Les blocs erratiques ont été transportés au moyen de glaciers terrestres.

A. 31. Tout nous porte à croire que les blocs erratiques ont été transportés au moyen de glaciers terrestres. Les pays qu'ils recouvraient devaient donc être émergés à cette époque, et ils ont dû être immergés depuis lors. C'est du moins ainsi que nous expliquons la présence des fossiles marins superposés au terrain erratique. Des dépôts de ce genre se retrouvent à des niveaux différents dans le nord de l'Amérique, près de Montréal, sur les bords du lac Champlain, dans le Maine, ainsi qu'en Suède et en Russie.

Ces différences de niveau indiquent qu'il y a eu depuis leur formation des abaissements ou des soulèvements qui ont fait varier leur hauteur. Ce fait doit nous rendre très-prudent dans nos conjectures sur la forme et le relief des continents à l'époque des anciens glaciers, sur l'étendue de la mer dans les temps qui ont suivi cette époque et sur les différences qu'elle pouvait présenter avec la mer actuelle.

Le diluvium non stratifié et les dépôts stratifiés plus récents diffèrent à un tel point, que partout ces derniers reposent d'une manière contrastante sur les autres, ce qui montre d'une manière évi-

ente la différence de l'agent qui les a produits. Cette superposition ntrastante du *diluvium marin* sur le *diluvium glaciaire* se voit une manière très-remarquable à la localité indiquée ci-dessus, rès de Cambridge. L'action des marées sur les matériaux stratifiés est évidente.

Soulèvement du terrain où se trouvent des dépôts stratifiés.

A. 32. Les niveaux variés auxquels les dépôts stratifiés se trouent placés au-dessus de la surface de la mer, sont une preuve que puis qu'ils se sont formés, les terres ont été élevées à des hauurs différentes. Il y aurait un grand intérêt à connaître ces différnces d'une manière assez positive pour déterminer plus exactement les derniers changements subis par nos continents.

D'après les faits qui précèdent il paraît probable que la distriation des matériaux erratiques dispersés dans tout l'hémisphère rd a eu lieu non-seulement sous l'influence de circonstances dirses, mais encore pendant des périodes longues, continues et stinctes les unes des autres. De grandes modifications dans le reef du sol ont eu lieu après leur transport et avant le commencement de la période actuelle.

Période de glace.

A. 33. A la première période, la *période de glace*, comme je l'ai ppelée, appartient tout le phénomène lié au transport des blocs rratiques, le *polissage*, le *striage* et le *sillonnage* des roches, ainsi ue l'*accumulation du diluvium non stratifié, strié et argileux*. Pendant cette période, la terre ferme paraît avoir été plus élevée aulessus du niveau de la mer qu'elle ne l'est maintenant; en effet, ous voyons sur les côtes de la Grande-Bretagne, sur celles de la Norwége, de la Suède et sur les rives orientales de l'Amérique, ue les *surfaces polies* plongent sous le niveau de l'Océan qui recouvre les traces laissées par le phénomène erratique, altère les *urfaces polies* et remanie le diluvium glaciaire. Pendant cette péiode, de grands animaux vivaient sur les deux continents, et l'on rouve leurs restes fossiles dans le diluvium de la Sibérie et dans elui de l'Amérique. Un *éléphant fossile*, récemment découvert ans l'état de Vermont, confirme les rapports déjà reconnus entre e diluvium de l'Europe septentrionale et celui du nord de l'Amérique.

Le continent septentrional était au-dessous de la surface de l'Océan.

A. 34. Nous rapportons à la seconde période les dépôts stratifiés ui reposent sur le diluvium et qui indiquent que, durant leur for-

mation, le continent septentrional était au-dessous de la surface de l'Océan. Pendant cette période, des animaux identiques à ceux qui vivent dans les mers du Nord étaient abondamment répandus sur les portions du globe qui sont maintenant émergées; mais comme cette élévation paraît avoir été graduelle et qu'elle continue encore de nos jours, je ne vois aucune possibilité de déterminer exactement la limite entre cette époque et l'état actuel des choses. Leur liaison, au contraire, est démontrée par l'identité qui existe entre les coquilles fossiles trouvées dans les dépôts stratifiés et celles qui vivent actuellement le long des rivages du même continent. Elle est également attestée par les changements qui s'opèrent de nos jours entre le niveau de la mer et celui de la terre ferme.

Lac supérieur.

A. 35. Le pourtour du *Lac supérieur* offre des traces évidentes des changements qui ont eu lieu entre le niveau relatif de la terre et des eaux. Ces traces présentent un aspect particulier, qui indique qu'elles ont été laissées par le lac sur ses rives, et consistent en terrasses placées à des élévations qui varient de quelques mètres à quelques centaines de mètres au-dessus du niveau de l'eau.

Les bords immédiats du lac sont couverts de sable et de cailloux amenés par les vagues, et les matériaux erratiques qui sont situés assez près des eaux pour être atteints par elles, sont totalement dépourvus de végétation. Un peu plus loin on voit un banc formé de matériaux solides. Il est hors de la portée des plus grosses vagues, et il est couvert de plantes cryptogames et de quelques plantes herbacées. Enfin, au delà on trouve d'autres bancs situés à des distances de plus en plus grandes des rives du lac, qui sont couverts d'une végétation plus ancienne, consistant en arbrisseaux, en petits arbres et en un grand nombre de plantes variées. On y remarque surtout des tapis de lichens qui s'étendent d'une manière étonnante sur d'immenses espaces. Le peu d'inclinaison de quelques-unes de ces terrasses indique d'autant mieux que les eaux du lac ont séjourné pendant longtemps à ce niveau, que ces terrasses elles-mêmes sont surmontées de murailles à pic composées aussi de matériaux erratiques qui paraissent avoir été soumis pendant longtemps à l'action des vagues. C'est ainsi que l'on voit, sur de grands espaces, des terrasses placées au-dessus les unes des autres, au fond des golfes ou le long des rivages. Il y en a quelquefois

deux ou trois, distantes de 20 ou de 50 pieds (6 à 16 mètres). Au-delà se trouvent de grandes plages unies s'étendant jusqu'à un banc taillé à pic, qui forme le bord le plus élevé, sur lequel on compte 6, 10 et même 15 terrasses, placées les unes au-dessus des autres, comme autant d'escaliers d'un amphithéâtre gigantesque. Le plus remarquable de ces amphithéâtres a été dessiné par **M. Cabot**, et forme le frontispice du volume. Sa hauteur a été déterminée par **M. Logan**, dans sa *Description géographique du Canada*, p. 10, où il le décrit avec beaucoup de soins. Je renvoie à ce travail pour de plus amples détails, et je dirai seulement qu'à la base de ces gigantesques escaliers se trouve une plage constamment exposée aux atteintes du lac et composée de sable très-fin formant une bande étroite et inculte.

En nous éloignant du lac, nous trouvons une pente d'environ 10 degrés, dominée par une terrasse plate qui s'étend sur une longueur de 50 pas à peu près, jusqu'à une pente d'environ 26 à 30 degrés d'inclinaison; au delà de cette pente on rencontre une terrasse de 80 à 100 pas, ayant une inclinaison de 16 degrés; au-dessus s'élève une pente de 20 degrés, au delà de laquelle est un replat étendu de plusieurs centaines de pas et couronné à son sommet par des digues irrégulières, situées le long des récifs de roches qui forment la base sur laquelle repose l'ensemble de toutes ces terrasses. Nous devons considérer ces terrasses lacustres comme étant analogues à celles de rivières. Ces dernières cependant ont la même inclinaison que le cours de l'eau, et c'est le seul caractère qui les distingue des terrains lacustres; elles sont aussi composées de diluvium glaciaire remanié. — Les cailloux de ce diluvium, par le fait qu'ils ont roulé et qu'ils ont été soumis à l'influence des eaux, ont plus ou moins perdu leurs stries et leur poli, mais ils sont encore doux au toucher. On voit plusieurs terrasses semblables entre les nombreuses îles du Lac supérieur; quelquefois elles forment des espèces de langues de terre peu élevées, qui rattachent ces îles à la terre ferme, montrant ainsi, sur une petite échelle, comment, par l'accumulation de matériaux erratiques, plusieurs petites îles ont pu être réunies de manière à en former de grandes, et comment, à des époques reculées, elles ont pu être jointes aux continents.

Les bords du lac offrent, près de l'embouchure des grandes rivières, une autre série de faits intéressants. Ce sont des barrières parallèles de matériaux erratiques, amenés par l'action de ses eaux, qui opposent des obstacles successifs à leur cours. La partie inférieure de la rivière *Michipicotin* est bordée de cette manière, sur une étendue de plusieurs milles[1], par des murs concentriques, à travers lesquels elle a creusé son lit. Elle a également changé de direction en se frayant une issue à travers les diverses barrières autour desquelles elle circule. La plus grande est située en aval ; c'est une espèce de terrasse fluviatile placée près de la limite du lac ; elle sépare maintenant une factorerie de son bord immédiat, ainsi que de celui de la rivière, qui s'est frayé un passage entre les rochers et la barrière.

La terre s'est élevée, les eaux se sont abaissées.

A. 36. Après avoir considéré ces faits, nous devons nous demander comment ces changements successifs dans le niveau du lac et de ses rives ont eu lieu. L'eau s'est-elle graduellement abaissée ou le sol s'est-il élevé à diverses reprises? D'après ce que j'ai dit ci-dessus des changements qui ont eu lieu entre la terre et la mer, je serais tenté d'admettre que c'est la terre qui s'est élevée et non les eaux qui se sont abaissées ; d'ailleurs les environs du lac fournissent des preuves qui ne me laissent pas de doutes.

Je suppose qu'une fois le lac ait été aussi élevé que les plus hautes terrasses ; il sera nécessaire d'admettre, dans cette hypothèse, ou que les bancs occupaient le pourtour de ces rives en ayant une assez grande élévation pour contenir les eaux à ce niveau, ou au moins qu'il y avait, à l'issue des eaux du lac, des bancs de cette même hauteur qui auraient été enlevés peu à peu. Or la terre ferme n'est pas assez élevée à l'extrémité occidentale et le long des rives méridionales du lac pour admettre une telle hypothèse; il n'y a non plus à son issue, entre *Gros-Cap* et le *cap Iroquois*, aucune trace indiquant la présence d'une ancienne barrière. Là, comme sur toutes les rives du lac, les matériaux dispersés se composent du même diluvium, dont nous avons expliqué la présence à des niveaux différents.

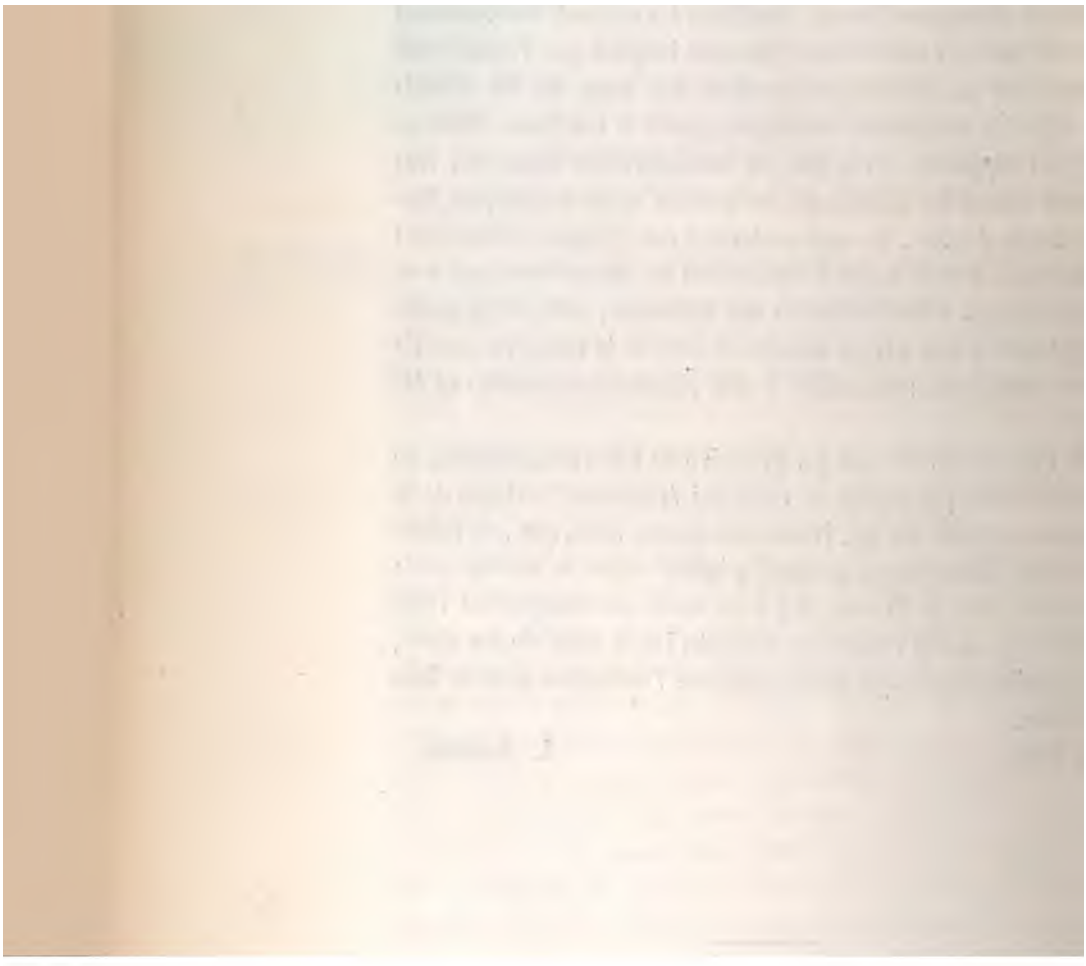
Si nous regardions ce diluvium comme ayant formé une barrière sous l'influence de laquelle le lac aurait façonné les autres parties

[1] D. A. Un mille = $1^{kilom},609^{m}$.

de ses rives, nous devrions encore trouver la cause capable d'avoir enlevé cette digue; or il n'y a dans la structure géologique du pays aucune indication qui puisse autoriser cette hypothèse. Si, au contraire, nous supposons que le lac lui-même ait renversé la barrière, il ne reste plus aucune bonne explication de l'accumulation du diluvium, de l'origine des terrasses et des changements survenus dans le niveau de la terre ferme; d'ailleurs les niveaux des terrasses comparés les uns aux autres sont tellement inégaux que l'on ne peut les expliquer par un abaissement graduel des eaux du lac détruisant une digue de matériaux erratiques placée à son issue. Mais ce que l'on peut supposer, c'est que les innombrables filons qui traversent dans toutes les directions les roches métamorphiques formant les bords du lac, les ont soulevés à des époques différentes; nous avons ainsi tout à la fois l'explication du changement qui a eu lieu dans le niveau relatif du lac et des terrasses, celle de la modification apportée à son niveau absolu et celle de la manière dont les masses de matériaux accumulés à son extrémité orientale ont été remuées.

Le fait que ces filons ont pu produire de tels changements, ne sera mis en doute par aucun de ceux qui étudieront l'origine de la configuration actuelle du lac. Nous conclurons donc que, de même qu'il y a eu un changement graduel général entre le niveau de la terre ferme et celui de la mer, il y a eu aussi un changement local graduel entre le niveau relatif des eaux du lac et celui de ses rives, et le phénomène local vient ainsi confirmer l'induction tirée de faits plus généraux.

Boston 1850. L. AGASSIZ.



TERRAINS ERRATIQUES

DE LA VALLÉE DU PÔ, AUX ENVIRONS DE TURIN[1].

M. et G. 1. **M. Ch. Martins** lit, en son nom et au nom de **M. B. Gastaldi**, une note sur les terrains superficiels de la vallée du Pô, aux environs de Turin. Introduction.

Les auteurs de cette note traitent surtout des terrains de transport confondus jusqu'ici sous les noms de *diluvium*. Les uns sont formés de débris charriés et transportés par les glaciers qui descendaient autrefois jusque dans la plaine du Pô ; les autres ont une origine aqueuse : de là une classification fort simple de ces terrains.

M. et G. 2. *Formation glaciaire.*—Anciennes moraines, identiques, sauf la grandeur, aux moraines des glaciers actuels, elles sont déposées à l'entrée des grandes vallées alpines, telles que la vallée de Suse, celle d'Aoste, du Lac majeur etc. Formation glacière.

Anciennes moraines de Rivoli.—Au débouché de la vallée de Suse on voit deux *moraines latérales*, la droite, plus considérable, entre Avigliana et Trana ; la gauche, moins puissante, le long des flancs du Musinet. Entre Trana et Rivoli, les *moraines frontales* forment des rangées de collines en arc de cercle. Ces collines s'élèvent quelquefois à 150 mètres au-dessus de la Dora Riparia ; elles présentent la forme de cônes, de monticules arrondis et de crêtes ; elles se composent de sable, graviers, fragments de toute grosseur, cailloux *rayés* entassés confusément, sans trace de stratification, et supportant des blocs erratiques *à angles aigus*, *à arêtes vives*, ayant quelquefois jusqu'à 28 mètres de longueur. Près d'Avigliana et de

[1] D. A. *Terrains superficiels de la vallée du Pô aux environs de Turin*, par **Ch. Martins** et **B. Gastaldi** (Société philomatique de Paris, séance du 15 juin 1850). Paragraphes M. et G.

Trana, la roche en place présente des *stries rectilignes* parallèles entre elles et à l'axe de la vallée, identiques en tout à celles que burinent les glaciers actuels.

Anciennes moraines d'Ivrée. — Les anciennes moraines terminales du glacier de la vallée d'Aoste forment un vaste quadrilatère dont le périmètre circonscrit une surface de 327 kilomètres carrés. Ce quadrilatère occupe la plaine au débouché de la vallée d'Aoste et entoure la ville d'Ivrée. La grandeur de cette moraine n'a rien de surprenant si l'on réfléchit que le glacier qui l'a déposée provenait du Mont-Blanc, du Grand-Saint-Bernard, du Mont-Cervin, du Monte-Rosa et des montagnes comprises entre la Doire et l'Isère.

La moraine latérale gauche est connue sous le nom de *la Serra*; c'est une longue colline à arête rectiligne, qui va en s'abaissant depuis les Alpes, où elle s'élève à 650 mètres au-dessus de la Doire, jusqu'à Cavaglia, où elle n'a guère plus de 40 mètres. La moraine latérale droite s'étend du village de Brasso, point où elle s'appuie contre la montagne, jusqu'au torrent de la Chiusella, jusqu'au lac de Viverone; les collines s'élèvent entre 160 et 300 mètres au-dessus de la Doire. La composition physique de ces collines est la même que celle des moraines de Rivoli; les *cailloux rayés* sont fort abondants sur la moraine frontale. Toute la vallée d'Aoste et les mamelons dioritiques qui entourent Ivrée, sont couverts de *stries* toujours parallèles à la direction de la vallée. Ces deux exemples suffisent pour montrer quelles sont les formes des anciennes moraines de la vallée du Pô.

Terrain erratique éparpillé.

M. et G. 3. *Terrain erratique éparpillé.* — Quand on pénètre sous un glacier, on y trouve une couche en général peu épaisse, composée de fragments plus ou moins volumineux, *frottés*, *arrondis* et *rayés* par la glace qui les presse contre le roc et les entraîne avec elle; puis du *sable* et de la *boue* résultant de la trituration de ces fragments lavés et remaniés par les filets d'eau et les ruisseaux qui circulent sous le glacier. Quand un glacier progresse, il entraîne ces matériaux; quand il diminue, c'est-à-dire quand il fond, les blocs erratiques et autres fragments anguleux qui reposent sur la surface supérieure du glacier se réunissent à ceux dont nous avons parlé; en d'autres termes, la moraine superficielle se superpose à la moraine profonde; c'est là ce que **M. de Charpentier** a judicieuse-

ment nommé *terrain erratique éparpillé*. Si donc la station d'un glacier sur un même point ne se prolonge pas assez pour qu'il ait, pour ainsi dire, le temps d'édifier une moraine terminale, il laissera néanmoins toujours, comme preuve de son passage, du terrain éparpillé. Ce terrain forme une ceinture tout autour des anciennes moraines de Rivoli; on y trouve les fragments plus ou moins anguleux, le sable, la *boue du glacier* (*Lehm*), et des blocs erratiques, dont quelques-uns, tels que ceux du village de Pianezaza, ont 25 mètres de long sur 14 de large. Le même terrain existe autour de la moraine d'Ivrée; il couvre le pays ondulé, à collines coniques, qu'on nomme *la Bessa*, et qui occupe le bord septentrional de la Serra. Le terrain erratique éparpillé est et doit être au-dessous des moraines en *forme de digues*, mais il se confond nécessairement avec elles sous le point de vue de la composition physique. On ne trouve point de terrain erratique éparpillé entre les moraines d'Ivrée, celles de Rivoli d'un côté, et la colline de Turin de l'autre. Ce terrain reparaît sous forme de *cailloux erratiques*, de *boue glaciaire* et de *blocs énormes* sur toute la colline de Turin et une partie de celle de Montferrat.

M. et G. 4. *Formations aqueuses.* — Les eaux qui s'échappent d'un glacier en fusion entraînent toujours avec elles des fragments empruntés aux moraines; elles les roulent, les arrondissent et les transportent à de grandes distances. Tout glacier est donc précédé, pour ainsi dire, par un diluvium local qui lui doit sa naissance. Les glaciers gigantesques, dont nous avons décrit les moraines, ont formé des nappes diluviennes dont la réunion constitue le plan incliné qui descend des Alpes vers le Pô. Ce terrain se compose de cailloux d'origine alpine, *roulés*, *arrondis*, *non striés*, d'autant plus gros qu'on les examine plus près de leur point de départ. Ces cailloux sont mêlés de sable, de graviers, confusément stratifiés et sans fossiles. La nappe se termine par une berge, qui s'arrête en général sur la rive gauche du Pô, et sur laquelle est bâtie la ville de Turin. Dans les coupes que le torrent de la Chiusella a faites dans la moraine d'Ivrée, celui du Sangone et la Dora Riparia, dans celle de Rivoli, on reconnaît très-bien la superposition dont nous avons parlé, savoir: *moraines*, *terrain erratique éparpillé*, *diluvium glaciaire*. Le tout reposant sur les sables pliocènes marins.

Formations aqueuses. Diluvium glaciaire.

Couches fluvio-lacustres. Alluvions pliocènes.

M. et G. 5. *Couches fluvio-lacustres.* — Alluvions pliocènes, ou à ossements de pachydermes. On les a mises à découvert sur la rive droite du Pô : ce sont des masses de sable et de cailloux stratifiés. Les cailloux sont quartzeux ou porphyriques et ne dépassent pas la grosseur d'un œuf de poule. On a trouvé dans ces sables, près de Villafranca d'Asti, un squelette de Mastodonte, une mâchoire de Rhinocéros, des Hélix et des Paludines; à Ferrare, dans la même couche, des dents d'Hippopotame et de Tapir, avec de nombreux restes de Mastodonte. Les auteurs croient que ces alluvions sont inférieures au diluvium glaciaire, et ont été déposées au sein d'un lac ou d'un cours d'eau situé au sud des collines de Turin et de Montferrat.

Couches pliocènes marines.

M. et G. 6. *Couches pliocènes marines.* — Elles sont horizontales et forment tout le fond de la vallée du Pô. Sur sa rive gauche on les trouve au-dessous du diluvium glaciaire; sur sa rive droite, au-dessous des alluvions à ossements. Elles se composent de sables quartzeux, de marnes souvent argileuses contenant des fossiles, tels que *Panopæa Faujasii*, *Pecten jacobæus*, *Pecten maximus*, *Murex saxatilis*, *Arca Noæ* etc. Ces couches n'appartiennent pas à la catégorie des terrains de transport; elles ont été déposées sur place, et commencent la série des terrains tertiaires dont la colline de Turin présente la continuation.

C. MARTINS et B. GASTALDI.

PHÉNOMÈNES ERRATIQUES

EN ANGLETERRE*.

Nord du Pays de Galles. (*North Wales.*)

R. 1. Between the Snowdon range and the Menai Straits, the country descends to the sea in a series of undulations, in great part covered by Drift, through which weatherworn bosses of rock protrude, often with rounded outlines, the smoothness of which has been much destroyed by atmospheric influences.

Passing from Caernarvon towards Llanberis, when we reach the marshes near Cwm-y-glo[1], the Drift disappears from the valley, the rocks stand out more boldly, and by and by, on both shores of Llyn Padarn[2] the experienced eye has no difficulty in distinguishing clear evidences of *glacial action;* for the rocks where unweathered, are round and mammillated, and their smoothed surfaces are sometimes *grooved*, the striations running north-west in the direction of the valley and of the length of the lake. Many beautiful instances of this occur by the sides of Llyn Padarn, and one obvious

The striation of the rocks, and most of the moraines mentioned in the following pages, are marked on the map. A few passages near the close of this memoir are extracted from other papers written by myself for the Journal of the Geological Society, the Edinburgh Philosophical Journal, and the Catalogue of rock specimens in the Museum of Pratical Geology.

*D. A. Extrait de : *Peaks, Passes, and Glaciers.* A Series of excursions by members of the Alpine-Club. Edited by **John Ball**, M. R. I. A., F. L. S., president of the Alpine-Club, 1859, 2e vol., p. 419 à 474. The old Glaciers of Switzerland and North Wales, par **A. C. Ramsay**, F. R. S. and G. S. (paragraphes R.).

**D. A. Illustration : lac et passage de Llanberis.

[1] The Valley of Coal, or more probably, of Light. Lying in the Lower Silurian rocks. this valley has nothing to do with the Coal-measures of the geologist; though I once found certain insane miners sinking for coal in the black Silurian slaty shales of the district.

[2] *Padarn*, a Welsh saint; Padarn's Lake.

example may be seen in a little rounded islet, near the lower end of the lake, close by the railway. With a little search, numerous like examples are found on the rocky slopes many hundreds of feet above the level of the lake, and on these all the *striæ* run north-westerly. On the map I have traced them in forty-six places, over a space nearly two miles in breadth, between the northern slope of Bryn-mawr[1] and Clegyr[2], the lake lying between. Here and there, on the side of Clegyr next the lake, little patches of *moraine matter* lie amid the rocks, while beyond its north-eastern slope, there is a broad expanse of Drift stretching towards Nant Francon.

The same is the case by the sides of Llyn Peris, both low and high; — as, on the unbroken surfaces of rock amid the great slate quarries, below Elidyr-fach; on the opposite slopes of Cwm Aelhir[3]; and far above to the very summits of Pen Carreg-y-frân[4] and Derlwyn[5]; — where indeed the *striations* fairly cross the watershed, and strike nearly westward, in a manner comparable to the change of direction of the groovings on the summit of the ridge below the Bettenhorn, that divides the valley of the great Aletsch glacier from that of the Rhône. Blocks of felspathic porphyry, that have *travelled* from the higher mountains of Snowdon, lie scattered about; and on the very summit of the ridge near Derlwyn, one stands *perched on the crags*, i a manner at once suggesting that it was *deposited by ice* where it now stands*.

Bloc perché.

A beautiful glaciated surface of hard Cambrian grit may be seen by the bend of the road, near the Coppermine, above Llyn Peris[6], close to the small octagonal building marked « office » on the Ordnance map, where the *striations* running down the valley are as fresh as if the ice had but lately disappeared. Other *rounded surfaces* slip into the lake; others form mounds of rock above the road; and finally, often decayed, they pass far up among the Cambrian grits, to the very summit of Pen Carreg-y-frân. On the oppo-

Surfaces polies et striées.

[1] Big Hill.
[2] Craggy Rocks.
[3] Eye-brow Valley.
[4] Crow-rock Hill.
[5] Oak-copse.
* D. A. Illustration : bloc perché près Derlwyn, au col (passage) de Llanberis.
[6] *Peris*, a Welsh saint.

site slopes, at the mouth of Cwm Dudodyn, the *rounded forms* are also apparent, but the finer *glacial markings* have often disappeared from the softer surfaces of the slate.

Blocs et matériaux erratiques.

Up the Pass, every step beyond Llyn Peris, the evidences of a vanished glacier become more and more apparent. *Erratic boulders* mingled with smaller *moraine matter*, lie by the roadside and up among the rocks, by the experienced observer, easily distinguished from more modern blocks and talus that lie below the weathered cliffs. On both sides of the valley, the rocks, strewn with blocks, frequently present the well-known *moutonnée form*, more or less perfect; and this is especially obvious towards the turnpike gate, and near Pont-y-gromlech [1], where bosses of felspathic porphyry rise like little hills in the middle of the valley, something like miniatures of that behind the Grimsel. Though their sides have been scarred by the winters' frosts, their summits, roughened by the weather, still retain the familiar largely *mammillated form* impressed on them of old by the grinding ice; and while the tourist, who sees something in scenery beyond mere external form, is often puzzled to account for the numerous blocks, that, perched on precarious points, seem as if they ought to have taken a final bound into the lower valley, the well-pleased eye of the geologist versed in ice, at once detects that they were let gently down where they lie by the melting of the diminishing glacier [*].

Roches moutonnées.

Moraines.

Further up the valley, behind Blaen-y-nant [2], a brook descends from the hollow of Cwm-glas [3]. A little way up its banks a *good-sized moraine*, afterwards to be more particularly noticed, has been cut through by the stream, and bends up both its banks. Above this, going up the Pass, the ground on the right is all covered with *moraine débris*, and nearly opposite the great fallen blocks of stone, miscalled a Cromlech, a huge mound worthy the name of a hill rises in the valley between the road and the upper side of the entrance to Cwm-glas. So large are some of the *angular blocks* with

Blocs anguleux.

[1] Cromlech Bridge.

[*] D. A. Illustration : roches moutonnées et blocs perchés sur le col (passage) de Llanberis.

[2] « The Mouth of the Valley, » where the house stands.

[3] The Grey Valley.

which it is studded, that for some time I was doubtful if the hill did not chiefly consist of a solid mass of felspathic porphyry, but the mixed nature of its fragments, its form, and position, after many a visit, forced me to the conclusion that it is *the relics of a large moraine,* shed from the upper side of a glacier that once descended from Cwm-glas, and abutted on the opposite side of the Pass.

Below Pont-y-gromlech, there are other traces of moraines, and several erratic blocks—one of them of greenstone—lie perched on the rounded rock of felspar porphyry. The *striations* on its surface are almost all weathered away, but such as are traceable trend towards Llyn Peris, and, as is frequently the case, the more broken side of the *roche moutonnée* also faces down the valley. Opposite, above the bridge, on the Snowdon side of the valley, a *great dark wall of rock* rises abruptly from the broken lower slopes, about a quarter of a mile from the road. From the bottom of the Pass it looks almost inaccessible, but half way up there is a *rough terrace*, at the foot of a greenstone dyke that forms in part the face of the cliff. The slope of the precipice is about 68° towards the Pass, and in one place especially the wall of rock *is polished*, and *deeply striated* in at least six principal deep grooves, which slope down the valley (not down the hill) at an angle of 12°. Some of them, are *deeply graven*, from two to two and a half feet wide, and twelve or eighteen inches deep, and they run so symmetrically along an almost vertical wall of rock, that the idea is at once suggested to the mind, that they were formed by the long-continued *pressure of a glacier* so large, that it filled the valley to a far greater elevation than the grooves, and by reason of the huge superincumbent mass of ice, a middle stratum, as it were, of the glacier was jammed against its bounding walls so powerfully, that by help of the grinding of imprisoned stones, in time, it wore out the deep furrows still so perfect.

Roche polie et profondément striée.

To the very top of the Pass the same kind of evidences, both of moraine débris and striation, continue unabated, especially on the *higher* slopes on the north-eastern side of the valley, where above the modern shingle and broken cliffts that overlook the brook, numerous *roches moutonnées* remain, still partially unweathered,

Roches moutonnées, polies, striées, et blocs perchés dans la partie la plus élevée du passage.

here and there dotted with *blocs perchés*. By the road at the twelfth milestone a good instance occurs of a *roche moutonnée*, easily seen by those who are satisfied with roadside geology. Its curving outlines are perfect on the top, but at the sides it has been shattered by the weather.

Close by the water-shed at Gorphwysfa [1], *striations in the rocks* still run north-westerly in the direction of the Pass, like those that must now be forming at the snowshed of the Upper-Aar and other glaciers. Once fairly across the watershed, where the valley widens, they rapidly curve round with the average slope of the ground, some passing in the direction of Nant-y-gwryd [2], towards Capel Curig [3], and others down Nant Gwynant [4].

R. 2. Thus far some of the more obvious *glacial phenomena* in the Pass of Llanberis [5] can scarcely fail to strike the most hasty observer, and if we ascend some of the tributary valleys that run upwards into the heart of Snowdon, they become still more impressive. Snowdon (montagne).

This mountain, the highest and noblest in the district, is bounded on three sides by valleys, which in all respects are usurpassed in geological interest and wild beauty, by any in the North Wales. On the north-east lie the bare crags of the narrow Pass of Llanberis, on the east the softer beauties of Nant Gwynant, and on the west the long *drift-covered slopes* of the broad depression that runs from Llyn Cwellyn [6] to Beddgelert. In the midst of these, the mountain rises in a tall peak 3571 feet (1088 mètres) above the sea, its base being formed mostly of old lava beds of felspathic porphyry, and the topmost thousand feet chiefly of stratified felspathic ashes. In these rocks six vast hollows have been scooped out by time, forming the wild upland valleys of Cwm-glasbach [7], Cwm-glas,

[1] The «Resting-place,» after the long ascent from Llanberis, Beddgelert, or Capel Curig.

[2] «Fathom Valley,» or of the lenght of a man. The meaning is obscure.

[3] *Curig*, a man's name. Curig's Chapel.

[4] White Valley; or literally, Whatevale Valley.

[5] D. A. Illustration : roches moutonnées et blocs perchés sur les hauteurs du passage de Llanberis.

[6] *Cwellyn*, properly *Cawellyn*, a basket, hamper, or creel. So called from the fishing-creels once used in the lake.

[7] Little Grey Valley.

Llyn Llydaw[1], Cwm-y-llan[2], Cwm-y-clog-wyn[3], and Llyn du'r Arddu[4], in some of which the *sings of glacier ice are even more striking* than in the Pass of Llanberis itself.

Just above the turnpike-gate in the Pass, Cwm-glas-bach strikes up towards the top of Snowdon. The cliffs of Llechog[5] formed of felspathic porphyry, boundt it on the west. A lower ridge separates it from Cwm-glas on the east, and its upper end is formed of a rough semicircular sweep of beds of consolidated felspathic ashes. The rocks at the upper end of the valley, often bare of vegetation, were partly smooted by a glacier that descended from the snows of Crib-y-ddysgyl[6], and further down the felspathic porphyry soon begins to show strong signs of *glacial abrasion*, which continue all the way down to the Pass. These surfaces, though decayed and roughened by age, and weathering and splitting at the joints, are still often wonderfully perfect in form. Distinct *striations* are, however, rare, but when they do occur, they run north and north-north-east, that being the direction necessarily given to them by a tributary glacier, that during this *glacial period* descended the valley to swell the main mass of ice in the Pass.

Vallée de Cwm-glas. Terrain erratique superbe.

R. 3. But it is in the adjoining valley of Cwm-glas that some of the *most perfect remains of glacier action are to be found*. First there is

[1] *Llydaw* is the Welsh name of Armorica, but there seems to be no sense in this interpretation. *Lludw* means *ashes* or *cinders*, and it is remarkable that on parts of the slopes round the lake, there are consolidated Lower Silurian volcanic ashes, still so scoriaceous-looking that even a person who is no geologist might readily recognise them as volcanic.

[2] The Enclosed Valley.

[3] The Craggy Valley.

[4] *Ardd* means a garden, and this name has often been translated « the lake of the black garden. » Such a name, however, seems to have no sense when taken in connection with the locality. *Arddu* also means « the extreme of blackness, » and lying, as the pool does, in a deep hollow at the base of a tall black cliff, the name literally signifies « the blackest black lake, » or, as it might be freely translated into Scotch, « Pit-mirk Loch. »

[5] The laminated or « flaggy cliff, » or precipice. The great beds of felspathic porphyry interbedded with slaty bands stand on end, and from below have a largely laminated aspect.

[6] « The Toothed Dish. » The upland valley bounded by this hill is one of those cauldron-shaped hollows that in Scotland would be called a « Corry, » and the serrated edges of its cliff may well be likened to teeth. « *Crib-y-ddysgyl.* » « Teeth of the Dish. »

the *immense moraine heap*, lying between the precipice south of the road and the supposed Cromlech. As already stated, I believe it to have been *formed by a glacier* that descended northward from the high recesses of Cwm-glas, and which fairly crossed the Pass, till its lower end abutted on the south side of Y Glyder-fawr [1], below Esgair-felen [2]. On the side of this glacier that faced up the Pass, there being no running water to bear away the débris, moraine matter might well be shed and accumulate to a vast amount, in the manner that appears to have taken place, on a larger scale, from the upper side of the Glacier des Bois when it formerly crossed the valley of Chamouni; while from the side of the glacier that faced down the valley, the chief part of the moraine would naturally be destroyed almost as fast as formed, by the streams that flowed from beneath the ice; just as at present in Switzerland the terminal moraines of the Rhône glacier and of the lower glacier of the Aar never gather to an amount at all commensurate to the quantity of débris that is constantly floated down to them on the ice. Since the disappearance of the glacier of Cwm-glas, the stream that drains the Pass of Llanberis has cut away a large part of the great upper moraine, but a large section of the rubbish still remains to attest its former magnitude. Subsequently, when the glacier decreased, and retired behind the spot where the house of Blaen-y-nant now stands, an ordinary *terminal moraine* was shed from its extremity, and clear traces of the débris still run in a long broad north-western line that crosses both the broocks on either side of the house, Not far behind the house there is a *large moraine* lying on the slope of the hill on both banks of the western brook. It consits of *heaps of boulders, clay, ad angular gravel and blocks*, identical in composition and in general aspect with many Swiss moraines. Some of the stones are *scratched*, the lines crossing each other confusedly; and the great mass of *the moraine is formed of three or even four concentric dliptical mounds*, which merge together at their bases, and mark on a small scale the gradual decrease of the Cwm-glas glacier.

[1] The *Great Glyder*. I cannot get at the meaning of *Glyder*, and will be glad of a rational explanation.

[2] The Yellow Shin or Ridge.

These circle round the north end of a *roche moutonnée*, that, in the middle distance of the drawing, rises like a little hill *.

Blean-y-nant. Moraines.

R. 4. A little behind the hill, about half a mile south of Blaen-y-nant, a *beautiful and most perfect terminal moraine*, grass grown, but still strewn with *travelled blocks*, ranges across the valley between the brooks, almost as regular in form as many an artificial earthwork. It is between 1200 and 1300 feet above the sea (365 à 396 mètres). Higher up on the west side of the valley, the *striæ* on the rocks run N. N. E. below the space where the *glacier in a cataract of ice* once rolled over the cliffs that now appear so grim. Three white threads of water glance on its black cliffs, the sole representatives, in another form, of the *jagged ice-fall*, that, on a smaller scale must have resembled the great *cataract of the glacier of the Rhône.* — The slope, though a little toilsome, is easy of ascent, and beyond the rocks, there lies, in the innermost recess of the mountain, and upland valley, unmatched in Wales for wildness, and in which I never met a human being, though I have been in it more times than I can tell. On three sides it is bounded by tall cliffs and mountain peaks, in the midst of which lie two little deep clear tarns, about 2200 feet (670 mètres) above the sea, each in a perfect basin of rock, in this, on a small scale, resembling the *Todten-see*, and the lake behind the *Hotel of the Grimsel.* Between these pools and the cliff below, an immense quantity of *moraine débris*, derived from Crib-goch †, encumbers the ground. The rocks on which it lies are often perfectly *smoothed*, *rounded*, and *deeply grooved;* and the *striæ* that lower down the valley strike straight towards the Pass, here branch to the south-west and south-east, following the course of two minor valleys, that bifurcate at the south end of this recess, on either side of a peaked ridge that descends from Crib-goch to the ground between the pools. *Tiny moraine mounds scattered about*, tell of the last remnants of enduring ice, ere the *shrunken glaciers* finally melted away in the uppermost recesses of the mountain.

Vallée haute très-aride et sauvage.

A 670 mètres alt., deux petits lacs.

Roches moutonnées, polies, striées.

* D. A. Illustration : moraines et roches moutonnées à Cwm-Glas.

† « The Red Teeth, » a name perfectly applicable to the serrated edge of this ridge, that, in the glacier days of Wales, rose, scarred by the weather, above the ice.

Having reached the upper end of Cwm-glas, if the explorer be indifferent to the hackneyed route of the posting tourist, he cannot do better than climb the ridge of Cribgoch, and walk along its edge towards the summit of Snowdon. There, if the weater be clear, he may see below him three *of the glacier valleys* that radiate from the summit of the mountain. The rocky amphitheatre of Glaslyn and Llyn Llydaw lies in the east, the deep descent of Cwm-y-Llan [1] on the south, and on the west the broad, precipitous, circular hollow of Cwm-y-clogwyn, in which, with a favourable light, he may see the *terminal moraine of an old minor glacier*, faintly circling the west side of the central pool of Llyn-goch. The last is best seen from the sharp ridge that leads to Beddgelert.

Du sommet du Snowdon on voit trois vallées glaciaires.

R. 5. Near the route back to Llanberis, a *great moraine* lies on the north and west of Llyn du'r Arddu. This deep-set little tarn (that often rests so still, even when a gale is blowing) lies at the base of a high cliff of felspathic porphyry and greenstone, mostly inaccessible except at its eastern end. Once with a companion I climbed it in a frosty December morning, after a slight fall of snow. It took an hour or more, for we were obliged to help each other with straps, and occasionally to cut steps with our hammers in the ice and crumbling rocks. By the outlet of the lake the striæ on the rock run north-westerly, and a large *roche moutonnée* lies a little nearer the cliff, sprinkled with *blocs perchés*. A great stony *moraine-mound, covereth with angular blocks* from the neighbouring heights, circles round the lake, and rising high above it on the north, it descends in a long steep slope for more than half a mile down Cwm Brwynog [2]. From the old mine-shed by the road, successive *concentric heaps of moraine rubbish* are distinctly traceable, the highest of all being about 2250 feet (685 mètres) above the sea. *Huge blocks* lie scattered on the surface, one of which, half way down the slope, measures about 18 yards by 14 by 10 (2520 mètres cubes), and probably weighs nearly 5000 tons. A loose stone, several yards square, — not a severed part, — lies on its summit,

Llyn du'r Arddu. Grande moraine.

Moraines. Blocs perchés. Bloc monstre.

[1] The term « *Llan* » is now commonly applied to a parish church. It literally means an « enclosure. »

[2] Rushy Valley.

perhaps in the very position it occupied when both *were left by the ice.*

At first it is difficult to understand how a *moraine* so large could have been deposited by so small a glacier, for the upper side of the moraine lies little more than a mile from the peak of Snowdon, and less than a mile from the slope of Crib-y-ddysgyl, from the snow-drainage of which *the glacier* was formed that flowed over the eastern end the cliffy ground, and passed down the hollow of Llyn du'r Arddu. But the difficulty is lessened to those who have seen the prodigious amount of débris that often fringes the sides and ends of some of the small glaciers that lie on the higher slopes of the Alps. These, once united to the great glaciers that fill the valleys below, are now, shrunk in size, no longer strong enough to join them, but melt and deposit great heaps of rubbish on the adjacent slopes.

Beyond this moraine, with sufficient search, many *ice-rounded surfaces* of rock may be seen in Cwm Brwynog, their original *striations* being often decayed, but when visible they run north-west and north in the direction of the slope of the valley [1].

Cwm-y-clogwyn.

R. 6. On the west, close below the peak of Snowdon, lies Cwm-y-clogwyn [2], enclosing three little lakes. It is easily reached in less than two hours from Llanberis, either by the route of Bwlch-y-Maescwm [3], or by Bwlch-y-Cwm-brwynog [4], at the west end of the precipice of Clogwyn-du'r Arddu. Immediately below this watershed, on the south, the lake called Llyn Ffynnon-y-gwas [5] *is possibly dammed up by a moraine*, merging into the long slope of drift that runs down to Llyn Cwellyn. A cliffy escarpement, over which the

Lac barré par une moraine.

[1] I have, however, often thought that the lower part of this valley is covered by Drift, and that if a tributary glacier from it ever *joined* the main one in the Pass, it must, of course, have done so before the aqueous deposition of this *drifted material.*

[2] Precipice Valley.

[3] Literally, «The Gap of the Plain of the Valley,» or «Valley-plain-gap.» This *Bwlch*, or gap, in the mountains opens on a broad inclined plain or slope of Drift that slopes down towards Llyn Cwellyn and the road to Beddgelert.

[4] Rush-valley-gap.

[5] «*Gwas*» means a «man-servant,» and «*Ffynnon-y-gwas*» the spring or «well of the man-servant.»

brooks leap, crosses the entrance to Cwm-y-clogwyn, but it is easily accessible, and on the summit of a kind of enclosed table-land lie three tarns; circled by crags, the loftiest of which, —Pen-Wyddfa [1], — or the peak of Snowdon, shoots high into the air, more than 1500 (457 mètres) feet above the lakes. The whole valley is what in the Highlands of Scotland would be called a Corrie (or cauldron), a Celtic name that still lingers in Wales on the north face of Cader Idris, though its meaning is now lost to the Welshman.

On the ice-worn surfaces of greenstone and felspathic porphyry, which form the bottom of the valley, *striæ are easily found*, running north-westerly towards its mouth. It is difficult to unravel all the minuter details of the *glaciation* of a valley from which *enduring ice* has so long vanished; but after many a visit, I came to the doubtful inference, that a *glacier* probably at one time covered the whole bottom of the Cwm, which is still more or less covered with *true moraine matter*. This is rendered noth the less probable by the circumstance that due west of Llyn-y-nadroedd [2], the rocks are *polished and grooved* to the top of a low part of the bounding ridge, as if the *glacier* had once filled the valley up to this point and overflowed towards Llyn Cwellyn [3]. Afterwards, as the supply of *snow* decreased, or the climate ameliorated, the *glacier* seems to have much diminished and split into three, for a *minor moraine* encircles Llyn-y-nadroedd on the north and east, and another beautiful small one made of *angular blocks* and stones, now covered with vegetation, bounds Llyn-goch [4], on the west and south-west, while a third dams up Llyn-glas. A long *broad heap of débris* runs in the direction of the length of the valley between Llyn-y-nadroedd and Llyn-goch, perhaps shed from two *minor glaciers* passing down to the lakes. If this were the case, the débris toppled over from the opposite sides of the *glaciers*, and formed a mound between them, on which *thre enormous blocks of porphyry still lie.*

Roches polies et striées.

[1] The meaning of « *Wyddfa* » seems to be quite uncertain. It is said to mean « wild, unfilled land, » and also « the place of presence » (?), or « the eminence » pre-eminently.

[2] Snake's Pool.

[3] Unless these *striations* were formed by *drift ice*.

[4] Properly « *Llyn-cóch* » or Red Lake.

Vallée de Llyn Llydaw (Snowdon).

R. 7. Of all the valleys that lie in the heart of Snowdon, the largest and most magnificent is that of Llyn Llydaw. It is easily reached from Llanberis over the summit of Snowdon, or by Cwm-glas over the ridge of Crib-goch; but both for the lovers of scenery and for those who specially care to observe its *glacial phenomena*, it is better to go up the Pass of Llanberis to Gorphwysfa, and so strike into the valley; or, if there be time, to cross the broken ground to the right of Nant Gywnant, and from thence ascend Cwm-Dyli[1], by the cataract to Llyn Llydaw. This route is most instructive, especially if the sides of the Pass have been explored before; for then, up to the watershed of Gorphwysfa, the eye readily comprehends all the combined signs of an *old glacier of the largest size in Wales*, especially when habit has accustomed the explorer to detect in every stage of decay the marks left by the *glacier*. As already mentioned, for hundreds of feet up the sides of the valley, all the *striations* run north-westerly *along* the hills; except in tributary valleys, or occasionally at great heights, where they sometimes converge a little towards the Pass, as in the higher part of the hollow above Pont-y-gromlech, that leads up to Y Glyder-fawr; or on the hillside about half a mile due west of Gorphwysfa; and again on the watershed directly west of Llyn-Cwm-ffynnon, where they run both towards the Pass and Nant-y-gwryd.

Close by Gorphwysfa the *striæ* run across the watershed, as if at its culminating point the piled-up *snow* and *ice* had flowed in two directions, on one side down the Pass, and on the other towards Nant Gwynant just as it now does as the upper end or snowshed of the Upper-Glacier of the Aar. At the corner of the road at Bwlch-y-gwyddel[2] some of the *striations* run east and west, as if part of the radiating mass turned down Nant-y-gwryd, where the *grooves* rund about E. N. E. towards Capel Curig. On the Snowdon side of the brook that runs from Gorphwysfa to Nant Gwynant, they strike E. and S. E. with the run of that branch valley; but on a lower level, at the mouth of

[1] Correctly, *Dylif*, meaning « the rush of waters. » The rushing waters telling that it may with propriety be translated « Cataract Valley. »

[2] Irishman's Gap.

n-dyli on both sides of the waterfall, they run nearly due east
· the top of the cliffy ground, showing that a *glacier once* pas-
through this opening into Nant Gwynant. Further south, oppo-
Gwastad Agnes[1], and on the northern part of the ridge of
t-y-wenallt[2], the *grooves* on the *rounded rocks* stricke S. E. and
. E., and finally curwing round to the S. and S. W. they strike
y down the valley on the western side of Llyn Gwynant, and
t across the mouth of Cwm-y-Llan.

Vallées de Llyn Llydaw et de Cwm-dyli.

he meaning of the direction of the *striæ* at the mouth of the
n-dyli is this : — A *glacier*, about three miles in length, flowed
ward, from below the peak of Snowdon, through the valley of
ı Llydaw and Cwm-dyli, and united with a *stream of ice*, that,
:n the *glaciers* of Wales were at their largest, descended from
direction of the Pass of Llanberis and Pen-y-gwryd, where the
was then of very great thickness, representing *the accumulated*
w-drainage of a large part of the broad mountain slopes that lie
ween the eastern peak of Crib-goch and the southern fall of Y
der-fawr. I consider that the result of this was to produce a mass
ce not less than 500 feet (152 mètres) thick, just above the pre-
t watershed at Gorphwysfa, for without this I cannot account for
longitudinal glacier striations running *along* the sides of the Pass
Llanberis 1300 feet (398 mètres) above its bottom. If this hy-
hesis be correct, then it follows that in then opposite direction
mass flowed down towards Nant Gwynant, being so thick at
rphwysfa, that its surface was higher than the broken ground
ween Llyn Teyrn[3] and the upper part of Llyn Gwynant. On this
ge, overlooking the bottom of Cmw-dyli by the waterfall, the
iations strike south-easterly, as if the *greater glacier* had quite
rridden the mouth of this valley on its northern side, while on
opposite side the *striæ* indicate that the tributary *glacier* filled
m-Llydaw so high, that it overflowed its southern bank on Gallt-
enallt, where the *ice* rolled over the ridge south-easterly, and
n curved round to the south, to swell the *great glacier* of Nant

[1] gnes 'Plain or Flat.
[2] White-hill; literally, « White Hill-hill. »
[3] *Teyrn*, a tyrant or supreme ruler. *Llyn Teyrn*, « King's Pool. »

Gwynant. Whether under these circumstances, in the depths of Cwm-dyli by the waterfall, an undercurrent of *ice* might have flowed easterly beneath the great mass that covered the mountain, I cannot determine; but it is needless to have recourse to it, since the *striæ* by the waterfall might subsequently have been produced by a *diminished glacier*, that in the latter days of the *ice* flowed through Cwm-dyli.

Vallées de Cwm-dyli et de Llyn Teyrn.

By the waterfall of Cwm-dyli there are symptoms of a small *terminal moraines*, and all through the valley above this hollow, there are numerous *moraine mounds*, sometimes running up the valley in rude lines, some of the blocks on which are ten or twelve yards (12 mètres) in diameter. Half a mile further, north-west of Llyn Teyrn, the roks have been *polished by ice*, and the great bosses of greenstone, that rise in the midst of the valley like the hill behind the *Grimsel Hôtel*, are nothing but huge *roches moutonnées*, dotted with felspathic blocks resting on their sides and summits. When largest, the *glacier* overflowed these (just as in old times the *Aar glacier* overflowed the hill behind the Hotel of the Grimsel), but as it declined there are appearances that seeme to indicate that it branched and wound between the islands of greenstone rock, and, decreasing still further, deposited its *moraines in lines*, where separate tongues of *ice* protruded from among them.

Llyn Llydaw. Lac et terrain erratique.

R. 8. Approaching Llyn Llydaw, the full grandeur of this wonderful valley bursts on the beholder. A *lake* rather more than a mile in length and of a green colour[1], like some of the lakes of Switzerland, runs obliquely across the valley. Around it rise the cliffs of Lliwedd, Crib-goch, and Pen Wyddfa, seamed with veins of white quartz, looking like streaks of snow on the tall black rocks that circle the vast amphitheatre, the scarred sides and ragged outlines of which, sharply defined against the sky, may well seem, till attempted, hopelessly inaccessible to the unpractised climber. In every season and phase of weather, there is a charm in this valley to the lover of the mountains. In quiet sunshine, when the rocks, and perhaps a lazy ferry-boat, are reflected in the still water; or while the wanderer scales the crags amid the seething mists; or when the pitiless rain, or hail, or snow, comes driving down the

[1] About 1800 feet (550 mètres) above the sea.

valley; but best of all, in a threatening evening, when the gathered clouds, like the roof of a vast cavern, hang heavily from side to side on the edges of hills ; and a streak of light caught from the setting sun, shows redly behind the dim peak of Snowdon, grimly reflected in the sombre waters of the lake.

The sings of *glacier ice* are so evident in Cwm Llydaw that it is needless to describe all the details. At the outflow of the lake there are *moraine-like mounds*, formed of earthy matter, stones, and *angular* and *subangular blocks*, which even now partly dam up the lake, and when I first knew it, raised it to a still higher level, ere the channel of the brook was sacrilegiously deepened to lower the water, for the sake of saving a few pounds in the construction of an ugly causeway. Close to the outflow, the once beautiful little islets of rock, feathered with heath and grasses, are now united to the mainland, and a broad ugly black rim round the lake, marks alike the extent of the drainage, and the barbarism of the perpetrators of this unhappy outrage on the most beautiful scene in North Wales. Between the upper part of Cwmdyli and the north end of Llyn Llydaw, above the brook, there are magnificent *roches moutonnées, once overflowed by the glacier;* their sides and summits, from 200 to 300 feet (60 à 90 mètres) above the lake, being still strewn with *moraine débris* and numerous *blocs perchés*, scattered on the rocks. On the little peninsula below, the *striæ* running east-north-east show the direction of the *flow of the glacier*, which, unchecked by the hill beyond, passed right over the rocky barrier. From sings higher up the hill, I believe that at one period the ice must have been here at least 500 feet (160 mètres) thick, and I incline to think that it was even much thicker. On the opposite side of the lake, the *moraine heaps*, of *large blocks*, *clay*, and *angular stones* somestimes *scratched*, are remarkably apparent; and in the great recess below the cliffs of Lliwedd, the rocks are wonderfully *rounded*, and dotted with *moraine matter* and *scattered blocks*, at least 500 feet (160 mètres) above the level of the lake. In the curve of that recess there are *striations* somewhat converging towards the bottom, in the manner that might be expected to be produced by *ice pressing* both down the greater slope, and outwards towards the mouth of the valley; and well up, on the broken spur of rock

Moraines et blocs perchés à 80 mètres altitudes au-dessus du lac.

Dans une certaine période le glacier doit avoir eu une épaisseur de 150 mètres et plus.

that runs from Lliwedd towards the efflux of the lake, the *striæ* turn suddenly round more easterly, where once the *ice* flowed high across the ridge and escaped down Cwm-dyli into Nant Gwynant.

Les roches qui encaissent le lac sont moutonnées, polies et striées.

Beyond Llyn Llydaw, a white torrent leaps down the rocks that lead to Glaslyn, which lies about 2000 feet (610 mètres) above the sea, in a semicircle of cliffs, close below the peak of Snowdon. This lake, if report speaks truly, it was actually intended entirely to drain, in search of some possible copper lodes, by an adit driven upwards from the broken ground above Llyn Llydaw! All round the lake the felspathic porphyries and consoladated ashbeds are *moutonnées;* and, even when most weathered, enough of these forms remain to attest their *glacial origin**. They are unusually striking on both sides of the stream, especially on the south, and on them scattered blocks lie *perched* in many precarious places. *Striæ* on the *ice-worn surfaces* are also plentiful all round the lake. They run more or less easterly, in the direction that it is easy to see must have been given them by the *gathered ice* of this elevated recess seeking an outlet; and on the higher banks north, south, and west of the lake, thay often slightly converge towards the bottom, in the manner we might expect from *ice pressing* dowm the banks, and at the same time outwards towards Llyn Llydaw.

Vallée de Cwm-y-Llan.

R. 9. Beyond Glaslyn, ascending the ridge by a zig-zag path that joins the Llanberis route to the top of Snowdon, or climbing the hills on the south side of the lake, it is easy to descend into tho upper part of Cwm-y-Llan, a winding valley that leads to Nant Gwynant between Llyn Gwynant and Llyn-y-Ddinas[1]. Beddgelert may then be reached by a walk of less than four miles along the turnpike road.

Immediately below the peak of Snowdon in the bottom of Cwm-y-Llan, a *moraine mound* about half a mile in length runs nearly north an south, formed perhaps in the latter days of the *snow* and *ice* that slipped from the high cliffs of Bwlch-y-maen[2] and Pen Wyddfa, or possibly from the broader opposite slopes between Bwlch-y-saethau[3] and Lliwedd. It consists of the usual heteroge-

* D. A. Illustration: roches moutonnées, polies, striées, et blocs perchés sur les parois qui encaissent le lac.

[1] *Ddinas*, a fortification or citadel. «Fortification Lake.»

[2] *Mæn*, stone. «Gap of the Stone.»

[3] *Sæthau*, arrows.

neous assemblage of *angular blocks*, *stones*, and *clay*, derived from the hills above. These materials running in a somewhat waving curve, form a series of united mounds, which in general character are undistinguishable from many a *Swiss moraine*. Some of the fragments are *scratched*. Standing on the summit of the *moraine*, or seen from below, it forms a striking object, especially taken in connection with the *ice-worn surfaces* of rock on the sides of the bounding hills. On these the *striæ* run more or less southerly, slightly converging towards the bottom of the valley. Farther down on both sides the *glaciated aspect* of the hill sides is still more imposing, especially on the slopes below Yr Aran [1], where the *ice-worn surfaces* contrast almost as strongly with the craggy upper part of the ridge, as the *roches moutonnées* above the *glaciers of the Aar* do with the sharp serrations that form the crests of the mountains. In both cases the same tale is told, of a time when *glaciers filled the valleys* almost to the brim, and the upper edges of the mountains rising above the *icy surfaces* were scarred by rending frosts.

Moraines et matériaux erratiques.

In the angular recess below the peak of Yr Aran, some of the *striæ* run north 25° east, and were formed at a period when the *ice* pressed directly down towards the bottom of the valley. At other places further down they strike east and east-south-east with the trend of the valley, then south-east in the narrow gorge by the mine, where-as with the *Aar glacier* below the Grimsel [2] — the pressure of the ice, forcing its way through the strait, *ground* the surface of the rocks so strongly, that to this day it seems as if the *glacier* had but lately disappeared. Below the gorge the *striæ* bend to the south, where the *ice-flow* curved round to join the *great glacier*, formed by the snow drainage of the valley of Llyn Llydaw and the mountains above Pen-y-gwryd, which, passing right down to Beddgelert and Pont Aberglaslyn [3], formed the *south-westerly striations* that here and there mark the harder unweathered rocks of Nant Gwynant. No *definite moraines* occur in Cwm-y-Llan; besides that at

[1] The Peaked Mountain.

[2] P. 409.

[3] Near Pont Aberglaslyn **Buckland** observed the *striation* of the rock, on the west side of the gorge. A framed inscription records it, in his own writing, in the hall of the Goat Hotel, Beddgelert.

the top of the valley; but *débris* and *scattered blocks* are numerous, and one of *unusual* size has been left by the *retreating ice* just above the gorge.

Snowdon centre de six anciens glaciers.

R. 10. Such is a brief account of some of the more striking *glacial phenomena* round Snowdon. The mountain formed *the centre of six glaciers* that flowed from the direction of the peak down the valleys of Cwm-Brwynog, Cwm-y-clogwyn, Cwm-y-Llan, Llyn Llydaw, and Cwm-dyli, Cwm-glas, and Cwm-glas-bach. Two of these, from Cwm-dyli and Cwm-y-Lland, flowed into the larger *glacier-valley* of Nant Gwynant, two passed out to the west, and the *glacier* of Cwm-glas-bach and Cwm-glas contributed to swell the mass of the *great glacier* that descended the Pass of Llanberis.—After a few days spent in exploring these recesses, the mind readily embraces the whole subject, and a short walk from Llanberis on the heights of Snowdon, along the ridges from Llechog to Crib-y-ddysgyll and Blaen-y-maen[1], enables the glacialist mentally to restore the *whole series of glaciers* that radiated from the central peak.

Série d'observations pour déterminer la plus grande épaisseur que peuvent avoir les glaciers dans le passage de Llanberis.

R. 11. The fact that the valleys of North Wales were once traversed by *vanished glaciers* implies that the ice must have passed through several phases.

Before the commencement of the Newer Pliocène period, and after the greater contours of the country were much as they are now, there were, probably, for a time *no glaciers here*. After this they began, attained a maximum size, dwindled, and disappeared. Reflecting on these things, it became an object with me, in the year 1854, to endeavour to ascertain what might have been the *greatest thickness of the ice in the Pass of Llanberis*. For this purpose I made a series of observations with the sympiesometer, to determine the height above the bottom of the valley of the *highest striations* that run south-east and north-west, or in the direction of the *flow of the glacier*. The method was simple: first, by mapping the *striæ* I rendered myself familiar with the *glacial phenomena* of the valley. I then selected ten or twelve favourable points, and at each made first an observation with the instrument in the bottom of the valley, and then ascending the hills on both sides at

[1] Front of the Stone.

right angles to it, I determined the height above the bottom at which *striations* were found running *along* the hills in the direction of the general fall of the Pass thus* :

If, as I believe, the *striations* at *b*, *c* were made by a *glacier* that flowed down the Pass, then the line *a*, *d* may represent approximately the *thickness of the ice* at one period of its history; and unless the glacier, by long continued erosion of its rocky floor, *contributed much to deepen the valley***, the average thickness of the ice was from 1100 to 1300 feet (335 à 395 mètres). Buth the *surface of the ice* at *b*, *c* was higher than the present watershed of Gorphwysfa at the upper end of the Pass, and to produce a *glacier-stream* flowing down the valley and filling it to heights so great *half way down the Pass*, at the present watershed there must have been a pressure of *accumulated ice*, not less than about 500 feet (150 mètres) thick. *That glaciers must deepen their valleys is self-evident*, and therefore the above estimate cannot be strictly correct. But it is nevertheless of sufficient value to warrant the conclusion, that when the *Welsh glaciers* attained their largest size, the ice was of very great thickness; and therefore, — considering the shape of the ground and *the ice marks*, — of a length so great, that it flowed well down across the lower hills that skirt Llyn Padarn, in the manner shown by the *striations* above that lake on the map***.

It would be easy to give descriptions of other old *glacier valleys* in many respects as remarkable as those of Snowdon, more especially of Cwm-du beneath Mynydd-mawr, about a mile west of Llyn-Cwellyn; of part of the country between the river Conwy, Afon Llugwy [1], and Nant Francon; of the valleys leading up from Traeth

* D. A. Illustration du passage de Llanberis.

** D. A. L'action des glaciers sur les surfaces de roches qui les encaissent est très-considérable et infiniment (incomparablement) plus forte que celle faite par les courants d'eau.

*** D. A. Les roches moutonnées, usées, polies et striées sont des preuves de l'ancienne extension des glaciers à une certaine époque. — Ces limites ne sont pas le maximum de la puissance des anciens glaciers monstres. (Voy. dans nos matériaux : *Glaciers en activité*).

[1] *Afon* means « a river, » and *Llugwy* « the outbreack of the water. » The word is very applicable when taken in connection with the source of the river; *Ffynnon Llugwy*, the « spring » or « source of the Llugwy. » The *moraine mounds* that dam the lake have been cut through by the river in a manner suggestive of the bursting of a dam, though in reality it was probably only deepened gradually by the natural outflow of the water.

Mawr[1] towards Cynicht[2] and Moelwyn[3]; and of Cwm-Orthin, near Ffestiniog, which I recommend all walking tourists to ascend, and to look out for a series of magnificent *roches moutonnées*, and *blocs perchés* below the mouth of the lake, which are best seen looking down the valley. But I refrain from such descriptions, and shall content myself with a brief account of Nant Francon[4] and some of its tributary valleys, which show, in a striking manner, all the *familiar signs of glaciers*.

Contrée entre Bangor et Bethesda.

R. 12. Between Bangor and Bethesda (of late sometimes called Glan Ogwen), the lower ground is more or less covered by *Drift*, through which here and there bosses of *glaciated rock* protrude; as, for instance, on the eastern flank of Moel-y-ci[5], near Pont-y-coetmor[6], *and in the neighbourhood* of Bethesda.

South of the Penrhyn slate-quarries the valley narrows as we enter the Pass of Nant Francon, and the mountains rise grandly on either side; on the left in a long steep-sided hill, while on the right the ridge is bold, irregular, peaked, and penetrated by tributary valleys. In the bottom, between Ogwen Bank and the falls of Llyn Ogwen[7], the river wanders through marshes and flat meadows, which I often incline to think may at one time have been dammed up on the north, to form a lake, at a spot not far above the slate-quarries, where the Cambrian and Lingula grits, striking across the valley, *have been ground by the old glacier* of Nant Francon into *roches moutonnées*, as perfect as any in Wales. These are easily accessible on the left bank of the river, where I shall therefore describe them.

[1] Big Sands.

[2] *Cynicht* means a «basis» or «foundation;» but why the word is applied to this hill I do not know,

[3] *Moel* is always applied to a round-topped hill. *Moelwyn*, «White Round Hill,» or «White Hill.»

[4] *Francon*, or *Ffrancon*, is believed to be a corruption of *Avancon*, beavers – «Beavers' Valley.» The river, often sluggish, winding through the alluvial flat, is just the sort of water to have been inhabited by beavers.

[5] *Ci*, a dog. «Dog's Hill.»

[6] *Coetmor*, probably a corruption of *Coed Mawr*. *Pont-y-Coed Mawr*, Bigwood Bridge.

[7] *Ogof* means a cave. *Ogwen* probably means «White Cave;» but I do not know of any caverns, either white or black, in the neighbourhood. It may probably be applied to the little gorge down which the white waterfall dashes.

From Ogwen Bank to the ground opposite Tyn-y-mæs [1], for a distance of a mile, all the low ground by the river is occupied by smoothly *glaciated undulating rocks*, marked by numerous smaller mammillations, and dotted with *erratic blocks*, chiefly of felspathic porphyry. The larger curved surfaces are especially prominent, because of the hardness of the grits, which are here interstratified with softer slaty beds. The latter having been more easily worn away and reduced to a lower level, the grits are left standing out in relief [2]; and are *strongly groved*, all the striæ running down the valley in a direction a little west of north.—Any one who will take the trouble of ascending Cwm-ceunant [3] will also find *striæ* in the lower part of the valley [4], running in the same direction; and, what is more remarkable, on *ice-worn Cambrian grits* that form the shoulder of Bronllwyd [5], at a higher level than the Penrhyn [6] slate-quarries, well *marked striations* follow the same course about 700 feet (213 mètres) above the river, probably intimating that *at a certain period* the ice of the glacier was here at least of that height. This ridge is worth the ascent were it for nothing more than the view, from such a foreground, of the great mountain recesses that once formed *the sources of the glacier*. In the middle the sharp cone of Y Tryfan [7] rises like the fragment of a *great wall*, seemingly inaccessible although in reality it may be scaled without much difficulty among the shattered blocks of stone that lie in strange confusion on its steepp western side. On the left of Nant Francon there rises the long ridge of Pen-yr-Oleu-wen [8], gradually increasing in height, and ending in the broken cliffs of Craig-yr-hysfa [9], and on the right are the recesses of Cwm-Bochlwyd [10] and Cwm Idwal, the

Cwm-ceunant. Roches striées.

Y Tryfan.

Pen-yr-Oleu-wen.

[1] House in the Field, or Field-house.

[2] This helps to throw light on the manner of formation of some of the rock basins that contain lakes.

[3] *Ceunant*, « Closed Valley. »

[4] About half a mile W. S. W. of Pen-y-gareg.

[5] *Bron*, a breast; *llwyd*, grey. « Grey-bre st. »

[6] A promontory.

[7] Three Peaks.

[8] Glow-worm Head, or Hill.

[9] Bounding Crag.

[10] Pale or Grey Cheek. The name probably ought to be written *Bychlwyd*, a grey le-gnat.

old parent-basins of the glacier, surrounded by the crags of the two Glyders, so steep that in places they are inaccessible.

Pen-y-gareg.

In the bottom of Nant Francon above Pen-y-gareg, *the signs of the glacier*, from the nature of the rocks, become less striking. The slopes are, however, here and there sprinkled with *travelled blocks*, one of which, of large size, stands by the road at Pen-y-gareg itself. It is of felspathic porphyry, and was probably derived from the cliffs of Craig-yr-hysfa, or Cwm Idwal, from two to three miles off. Others lie on the very crest of the ridge of Pen-yr-Oleuwen, one of which, on slaty hills about 2000 feet (610 mètres) above the sea, is a block of felspathic porphyry nine yards in length, five high, and two in breadth (90 mètres cubes). Its weight must be about 180 tons. Between Tainewyddion[1] and Maes-Caradoc[2], by the road, the rocks are *polished*, and *grooved;* and opposite Ty-gwyn[3] an excellent example of a *roche moutonnée* rises in the midst of the alluvial flat, presenting, as is frequent in such cases, its broken side down and its rounded side up the valley in the direction whence the *glacier flowed*.

Tainewyddion et Maes-Caradoc. Roches polies et striées.

Penrhyn et Capel Curig.

Between the Penrhyn slate-quarries and Capel Curig, fifteen tributary valleys branch from Nant Francon and the valley of Llyn Ogwen and Afon Llugwy. Eleven of these are on the west and south, and four on the east and north. The watershed in the Pass is at Wern-go-uchaf[4] near Llyn Ogwen, and it is easy to infer that west of this and Y Tryfan the high valleys of Cwm Bochlwyd and Llyn Idwal[5] both contributed a great part of the *ice that floved down Nant Francon*. Between Llyn Idwal and Bethesda each of the six tributary valleys in some way or orther tells that it was once the home of a glacier. At Llyn Cywion[6] in Cwm-goch, and in Cwm-bual[7] and Cwm-ceunant, there are *scraps of moraines*, and *erratic blocks;* or *striated surfaces*, from some of which, on removing the turf, I found that the *ice-smoothed slate* still retained a *glassy polish*,

Llyn Cywion. Cwm-goch, Cwm-bual et Cwm-ceunant. Surfaces striées, blocs erratiques et moraines.

[1] New Houses.
[2] Caradoc's Plain.
[3] White House.
[4] Upper Blacksmith's Copse.
[5] Idwal, a man's name.
[6] Chicken's Poll.
[7] Wild Bull, or Buffalo Valley.

marked by scratches often as fine as if made with the point of a knife. Those in the upper part of the valleys always follow the general slope, but unfortunately when I examined North Wales, having other geological objects more especially in view, I became at length so familiar with *striations*, that I often neglected to record them, and I hesitate to draw them on the map, lest they should be out of place.

Nant Francon et ses vallées.

Taking Nant Francon in connection with its branching valleys, an attentive consideration of all the circumstances has led me to think that it was *so far filled with ice*, that the mouths of the minor valleys to a height of from 700 to 1000 feet (215 à 305 mètres) above the river, were over-ridden by the main *stream of ice*, which flowed across the lower ends of the spurs that branch from the crested ridge on the west. But, when by amelioration of climate *the great glacier diminished*, the lower spurs that bound the minor valleys stood out, partly denuded of *ice*, while the upland hollows still contained *minor glaciers* that left markings on the rocks more or less transverse to those that were formed when, from side to side, the lower part of Nant Francon was *full of ice*. The same is the case with the existing glaciers of the Aar.

Cwm-Grainog.

In none of the tributary valleys north of Lly Idwal, are the signs of a *small glacier* so distinct as in Cwm-graianog[1], which, on this account, is well worth a visit. From Bethesda it is easily reached from below, and from Llanberis the quickest route is to go up Cwm-dudodyn, and down what some would consider the perilous slope of Moel Perfedd in a sort of *couloir* at the west end of the valley. The pedestrian then finds himself in a small craggy valley over half a mile in length, looking across Nant Francon. On the east the felspathic porphyry of Moel Perfedd[2] rises in a rough peak, and on the west the great bare ripple-marked strata of the Lingula grits dip towards the hollow at an angle of 48° or 50°.

Nant Francon. Moraine terminale.

At the mouth of the valley above the steeper descent to Nant Francon, a small but *beautifully-symmetrical terminal moraine* crosses the valley in a long crescent-shaped curve, that once passed

[1] Gravelly, or Stony Valley. See the description of the ground inside the moraine.
[2] *Perfedd*, the middle point.

from 200 to 300 yards (180 à 275 mètres) up the eastern side of the *glacier*. On this side, as might be expected, almost every stone of the *moraine* is a fragment of the felspatic rock of Moel Perfedd, having been shed from the edge of the *glacier* by a part of the *ice* that had that mountain as its source. Further west along the *moraine*, the material becomes mixed with fragments of grit and slaty sandstone; and by degrees, passing to the western side of the valley, the *moraine matter* consists entirely of pieces of the Lingula beds that form the *crags* of Carnedd-y filiast[1], on the right of the drawing. This will be appreciated by any one who has studied lithologically the *sources of moraines*, and the gradual mingling of material in the downward flow of some of the *Alpine glaciers*. In Cwm-graianog the whole is formed of *large angular loose stones* mixed with smaller débris, through which the drainage percolates. The largest of these lies on the top of the moraine, from 450 to 500 feet (135 à 150 mètres) above Nant Francon. It was originally eleven yards long, nine broad, and about one and a half high (130 mètres cubes), and when entire must have weighed nearly 300 tons ; but it has been broken into four pieces by the frost. Two small lines of stones descend from the lower side of the *moraine*, looking as if they had been *shed by ice* from Cwm-graianog, even though where they lie below the *great moraine* the rock still* shows the north-westerly *striæ* formed probably at an earlier date by the great Nant Francon glacier. *Inside the moraine*, a great part of the bottom of the valley is covered with rubbish and heaps of loose blocks, underneath which, in places, the running water is heard flowing with a tinkling sound. Doubtless much of the smaller débris has been carried away by the water, and the mounds may be partly the result of the falling in of some of the material.

Vallée de Llyn Idwal.

The valley of Llyn Idwal has long been classic ground to geologists, having been the first case in which a special glacier valley in Wales was described in detail[2]. Its features are simple. The rocks of the valley consist of interbedded masses of grit and felspathic trap, lying in the form of a synclinal curve, and forming on either side the tall cliffs of Y Garn and Y Glyder-fawr. The black wall of

[1] The Carn of the Greyhound-bitch.

* D. A. Illustration: Cwm-Graianog.

[2] See **Charles Darwin**, Phil. Mag. Ser. iii, vol. xxi.

Twll-du[1], famous for its ferns and saxifrages (the relics of an Alpine flora), closes the valley on the south-west, above which, by Llyn-y-cwn[2], there is an upland valley, covered *with angular drift*, leading to the Pass of Llanberis. Below Twll-du, in the bottom, lie the sombre waters of Llyn Idwal, the depth of which I do not know, but which are partly dammed up by a *terminal moraine*, lowest in the middle, the greater amount of débris having, — as is usual with short glaciers — been brought down at the sides of the ice, where, under the circumstances, the subsequent removal of *moraine matter* was also probably less. The water is also, I incline to think, partly retained because it lies in a rock basin ground out by the *old glacier*. Below the *moraine*, all the way down to the Ogwen, the rocks are strikingly *moutonnées*, and when undecayed they are covered with *striæ*, which gradually curve round to take the direction of the main valley. Between Llyn Idwal and Cwm Cywion, on the top of the dividing ridge, high above the north-western angle of the lake, I found *grooves* running right across the watershed in the direction of Nant Francon; as if Cwm Idwal, before the glacier dwindled to form the *still-existing moraines,* had at one time been *full of ice*, at least to the height of these *striations*, thus overfloving the barrier that divides it from the west side of Nant Francon. If so, it may be that at this period, or when still larger, it abutted on the opposite mountain lelow Braich-du[3], thus producing the singular smoothing of the rocks well up the cliff, and *striating* them transversely to the slope of the hill, in the direction in which the *ice* would unter the circumstances have escaped down the valley.

As the glacier decreased in size it deposited the *moraines* that now skirt Llyn Idwal, its progressive diminution being marked on the western side of the lake by *four moraines arranged* in long symmetrical mounds one within another. There is also some appearance of an *inner terminal moraine* towards the southern end of the lake, where it narrows; and on the east there are patches of *moraine matter* and *ice-smoothed bosses* of rock rising through the soil*.

[1] The Black Hole.
[2] The Hounds' Lake.
[3] The Black Arm.
* D. A. Illustration: Section à travers la moraine de Llyn Idwal.

Descending to the outlet of Llyn Ogwen, very perfect mammillated *roches moutonnées* more or less form the hill side and lie in the bottom, covered with *straight grooves*, running in the direction of the valley. Similar signs mark the lower part of the mountain on the angle of Craig-yr-hysfa, and *ice-smoothed rocks*, perfect or decaying, rise so high up the mountain towards Braich-du, that, to appreciate them, it is necessary to scramble along and up and down the face of the mountain almost from bottom to top. Some of these were probably made by grating icebergs during the partial submergence of the country.

Llyn Ogwen. Cwm-Bochlwyd. Preuves d'anciens glaciers. Lac barré par des moraines.

Above Llyn Ogwen, in Cwm Bochlwyd, there are again ample *proofs of glacier action*. A little lake lies in the hollow of this, one of the wildest valleys in North Wales, apparently slightly *dammed up by moraine matter;* and just beyond the upper end of the lake, there is an *immense moraine heap*, running nearly across the valley and formed of *angular blocks of stone*, some of them from six to ten yards in length. Occasionally, these are marked by *straight striæ*, which do not cross each other; showing that these blocks once formed part of them, rent by the weather, *fell on the ice*, and were finally floated down to be deposited on this moraine. Frequent *blocs perchés* here, as at Llyn Idwal, dot the *roches moutonnées*, and it is important to note that above Llyn Bochlwyd, *striations* run south-easterly right up to the summit of the steep and shattered ridge that unites Y Glyder-fach to Y Tryfan; so that here, on the old *snowshed*, it would appear that the *ice pressed downwards in opposite directions* into Cwm Bochlwyd and Cwm Tryfan, and afterwards curving round, helped to form the *glaciers* that flowed northerly through both valleys on opposite sides of the sharp peak of Y Tryfan. In this, on a small scale, it ressembled some Alpine passes where, standing on a gently sloping *snowshed*, such as that of the Upper-Aar glacier, you look down upon opposite systems of drainage.

Toutes les montagnes, vallées et lacs entre Bangor, Capel Curig et Conway renferment des preuves de l'existence d'anciens glaciers.

To avoid further statements similar to those already made, it is now enough to say that in the wild, little visited mountain tract, that lies between Bangor, Capel Curig, and Conway, there is not a mountain, valley, or lake that to the instructed eye does not show signs of the *influence of glaciers*; or, more strongly still, *of the icy sea of the Drift*; and I shall now turn to the consideration of the

relations of the glaciers of North Wales to these remarkable marine deposits.

Phénomènes erratiques en général.

R. 13. Every one who has given any attention to Tertiary geology is aware that a large portion of the low country of the north of Europe, from the Ural to the Atlantic, is more or less covered by what is technically termed DRIFT; that is to say, of loose superficial accumulations of sand, gravel, and clay, charged with rounded, subangular, and angular stones and boulders, many of which have travelled for hundreds of miles. Thus the great plains south of the Baltic are covered with fragments of granite and gneiss derived from the Scandinavian chain, an instance of which will occur to many, who remember opposite the Museum at Berlin the great *vase or tazza of polished granite*, made from a boulder found in the neighbourhood. The plains of Siberia are in great part formed of *diluvial deposits*, which, according to **Chihacheff**, penetrates the mouths of the valleys on the northern flanks of the Altai, and shows many analogies with the *Drift*, even though it is doubtfully said to contain no *erratic boulders;* and all the broad champaigns and tablelands of North America, from the Laurentian chain of mountains to the Ohio, are covered by *gravel and clay*, well sown with *boulders*, many of which have travelled hundreds of miles from the gneissic mountains beyond the St. Lawrence. The east coast of England, from Yorkshire to Essex, is in like manner covered by *Drift*, partly of Scandinavian origin, and all the solid formations of the central plains, from Leicestershire to Worcestershire and the borders of North Wales, are more or less obscured by detritus well charged with *boulders*, many of which have been transported from Cumberland, and perhaps from Scotland, and Wales itself.

For long it was a favourite dogma that these heterogeneous mixtures of near- and far-transported material were scattered over the northern continents *by great sea waves*, which, rushing from the north, strewed half a world with *rubbish*, and *polished* and *striated* the rocky surfaces over which the débris passed. But now that spasmodic geology is at a discount, more sober imaginations believe that the blocks of stone that strew our continents and islands were chiefly dropped where they lie, by the same agency — that of icebergs — that is now sowing the Western Atlantic with earth, and

erratic boulders, derived from the mountains and coasts of Greenland, where glaciers descend to the sea. The question then naturally arises.

Glaciers et matériaux erratiques.

R. 14. *What is the relation of the* DRIFT *to the glaciers that once existed in our own mountain regions?*

First it must be stated, that the occurence of this Drift high on the mountains, introduces an element of great difficulty in accounting for some of the details of the glaciation of a mountain land like North Wales; in so far that it is sometimes impossible to decide which of the striations were produced by glaciers, and which by icebergs[1]; for when the country was deeply submerged, and the mountain tops formed a group of islands, *striations* must have been formed by the grating bergs on the sides of the channels (now elevated valleys) through which the icebergs floated, and it is impossible always to separate these from *striations* formed by glaciers of later date. I may be, as I have elsewhere stated[2], that an earlier set of glaciers proceded the deposition of the Drift, but whether or not this was the case, it does not interfere with the fact, that after the re-elevation of the Drift covered country, the greater glaciers ploughed the drift out of some of the larger valleys, and during that process produced those *striations* that still seam theier sides. An instance of the difficulty occurs in the valley between Llyn Ogwen and Capel Curig, and between Capel Curig and Pen-y-Gwryd. In the former case, the higher *striations* on the flanks of Carnedd Dafydd may have been produced by icebergs during the submersion of the country, and at a time when Drift was deposited in the valley the Llugwy, and probably also in Nant Francon. But at a later date, after re-elevation, this drift has been ploughed out of Nant Francon by a large glacier, while it still remains in the valley of the Llugwy. The slope of the country seems to have sent the moving ice that gathered in Cwm Idwal and Cwm Bochlwyd, all down the valley of Nant Francon, leaving, in the

[1] D. A. Les glaces flottantes ne strient pas les roches. Les glaciers terrestres en activité nous disent qu'ils sont les auteurs des surfaces polies, burinées, rayées et striées, et que leurs ancêtres, les glaciers monstres autrefois en activité et plein de vie, faisaient de même. Voilà positivement ce que nous disent les glaciers en activité, et ils nous le répètent tous les ans, depuis 1842 jusqu'en 1862 inclusivement; et ils ajoutent: adressez-nous des demandes et nous répondrons carément.

[2] Geol Journ., vol. vii, p. 371.

valley of the Llugwy above Llyn Ogwen, the Drift still lying intact on nammilated and grooved surfaces of rock.

The above remarks will prepare the unitiated to appreciate the vell-ascertained fact, that previous to the Tertiary glacial epoch, nost of the grander contours of hill and valley were in Britain (and lsewhere in Europe) nearly the same as now. Much of the land was hen slowly depressed beneath the sea. As it sank, its minor features were somewhat modified, for terraces were formed on old sea nargins, and icebergs drifting from the north, and pack-ice on the hores, ground and grated along the coasts and sea bottoms, smoothing and striating the rocky surfaces over which they passed, and depositing, in the ourse of many ages, clay, gravel, and numerous boulders over wide areas thad had nce been land. The groves and striations on the ice-smoothed rocks (except where ocally deflected) still bear witness to the general southward course of the ocean currents that bore the ice from its birthplace into milder climates *.

All through Britain and Ireland Drift rises well up on the lanks of the mountains; and in Caernarvonshire, and North Wales generally, the surfaces is, over large areas, more or less covered by rue *glacial drift*, rising from unterneath the sea to a height of about 2300 feet (700 mètres) on some of the mountains. Near the shore, it has often been re-arranged and waterworn by the sea at a later period, during emergence and various terrestrial oscillations of level, and it is in this upper division that most of these shells etc., are found, which are usually considered characteristic of the Newer Pliocene deposits. But in the high grounds it is generally in its native state, consisting of clay, angular of stones, gravel, and boulders, sometimes, as in Cwm Llafar, on the west flank of Carnedd Llewelyn [1] arranged in *terraces* marking pauses in the re-elevation of the country. Shells were found by **Mr. Trimmer**, on Moel Tryfan, 1300 feet (400 mètres alt.) above the sea, in sand and gravel, and others were found by myself at about the same height, less than two miles west of the peak of Snowdon, on a long slope of drift well charged with erratic blocks, one of which, of great size, is know as *Maen-bras*, or the large stone **.

* D. A. (?).

[1] Near Glan Ogwen or Bethesda.

** D. A. Illustration: Bloc monstre à l'ouest de Snowdon.

Much of this Drift, though rudely stratified, singularly ressembles ordinary *moraine matter* in the appearance and quality of its mud, and the *polish*, *approximate angularity*, *scratched surfaces* and sizes of its stones. From circumstances presently to be mentioned, it is to me certain, that at a time when North Wales was so far submerged that only the higher mountain tops rose as islands, — none of them more than about 2000 feet (600 mètres) high * some of these even then gave birth to glaciers that descended into the sea, and their ends breaking off in icebergs, floated hither and thither, which, as they melted, deposited their stony freights in the sea. The intensity of the cold may be inferred from this. The sea then flowed through some of the greater valleys between the Menai Straits and Cardigan Bay, across the present watersheds of the Passes**. The principal of these are the Vale of Conway, and its upper branches to Capel Curig etc.; the Pass of Nant Francon, and its continuation between Llyn Gwynant and Capel Curig; the Pass of Llanberis (about 1000 feet (300 mètres) high at the watershed), opening into Cwm Gwynant; and the Valley of Afon Gain, between Caernarvon and Beddgelert. The country was thus broken into a group of islands, each one of which in great part had its covering of snow and ice, permanent till large cosmical changes produced a decided amelioration of climate.

It is, therefore, not improbable that before this change took place, in other portions of these islands not possessed of the form requisite to originate massive glaciers, snow and glacier ice may nearly have covered their entire surfaces; for, unless the cold were sufficient to produce such a result, it is difficult to understand how on other parts of these small islands, good-sized glaciers, such as then certainly filled the valleys, could have been produced. But if this covering of snow and ice did exist, it is very intelligible how the drift on the sides of the mountains is generally composed of stones from the hills close above, and is also more or less moraine-like in its character. In fact it is not till we reach the comparatively

* D. A. A une certaine époque, époque des glaciers monstres, toutes les sommités d'Angleterre étaient plus que probablement couverts de glace.

** (?).

distant low ground of Caernarvonshire, near the sea, and the plains of Anglesey, that far-travelled fragments from doubtful or unknown regions begin to occur in Drift deposits which are perfectly distinct from glacier moraines, although resting on ice-smoothed and striated surfaces, the directions of the striations on which bear no ralation to the glacier valleys of Caernarvonshire, but run transversely to them, and were, in my opinion, produced by icebergs floating, mostly from N. N. E. Unter any such circumstances, small icebergs and coast-ice grating along the shores and sea bottoms, would in the course of time be sufficient not only smooth and groove the rocks, but also to scratch blocks and stones that lay in the bottom of the sea or were imprisoned in the floating ice *.

Vallée de Llyn Cwellyn et lac de Llanberis

Between the valley of Llyn Cwellyn (Cwm Seiont [1]) and the lakes of Llanberis, there is a wild and high moorland tract almost entirely covered by Drift, till we reach the solid rocks above Llyn Padarn. Just above either side of that lake, the hills are generally craggy, or else *moutonnées*, and clear of Drift; and beyond Clegyr towards Nant Francon, west of the mountains of Elidyr fach and Bron-llwyd, there is a broad moor formed by Drift of great thickness, and which, from an average height of about 1100 to 1300 feet (335 à 400 mètres), stretches eastward into the valley of Marchlyn-mawr, where it attains an elevation of about 2000 feet (600 mètres). Standing on this moor, above the left bank of the Ogwen, the eye easily detects on the opposite slopes a corresponding accumulation, stretching smothly up the higher valleys towards Aber, and bending on the east and south-east towards the valleys of Afon Berthan [2], the Llafar [3], and Afon Gaseg [4], streams that rise in the higher recesses of Carnedd Dafydd aud Carnedd Llewelyn [5], on their seaward flanks. In the valleys through which these streams flow **, the Drift attains an elevation of about 2300 feet (700 mètres), stret-

* D. A. L'impression en petits caractères rappelle que les glaces flottantes ne polissent pas, ni strient, ni burinent les roches — 1862.

[1] *Seiont* or Segontium.

[2] *Berthan*, a bush, « Bushy Brook.»

[3] A voice; alluding to the fine echoes of this great semi-circular hollow.

[4] *Gaseg*, a mare

[5] David's Carn and Llewelyn's Carn.

** D. A. Système diluvien, qui n'est nullement confirmé. — Le système glaciaire explique tous les faits hypothétiques. — Voy. dans nos *Matériaux* preuves nombreuses et positives.

ching into their wide recesses with a smooth outline, and I was informed[1] that part of these deposits contains shells at a height of about 1000 or 1200 feet (300 à 365 mètres).

Cwm-Llafar.

Cwm-Llafar has an interesting history, and is worth a visit, being easily reached from Bethesda or Glan Ogwen. A vast semicircular hollow surrounded by the *black crags* (chiefly greenstone) of Carnedd Dafydd, Carnedd Llewelyn and Yr Elen[2], forms the upper end of the valley. In its bottom, between the last-named peak and Mynydd-du[3], the Drift, thickly charged with *angular boulders*, often of large size, forms a succession of terraces, the result of marine denudation during pauses in the reelevation of the country after its submersion to a depth of more than 2000 feet (600 mètres). On the south-western side of the valley there is a long and comparatively narrow channel, through wich the brook runs, *bare of Drift and boulders*, and having on the Mynydd-du side a well-marked *roche moutonnée*, striated in the direction of the valley, thus marking the course of a narrow glacier about two miles in length, *that ploughed out a long straight hollow in the Drift*. That this clearance was not effected by the existing little stream is evident; for it is utterly inadequate to remove the great blocks that form the bulk of the terraced drift. The removal by running water of the lighter detritus mixed with these would, indeed, have *concentrated* the boulders on the surface of the straight alluvial hollow, in the manner they now are concentrated by river denudation on the banks of the far more powerful Gorfai, two miles S. and S.E. of Caernarvon[4]. As the Cwm Llafar glacier decreased in size, it deposited a *minor terminal moraine* where the brooks meet below Nant-bach and Nant-y-craig. Within this barrier a small lake seems to have been dammed up, till the brook at the outlet cut a channel to the bottom of the moraine, and the water of the lake was drained away.

The same ploughing out of the Drift by glaciers on a much larger scale is evident in the Passes of Nant Francon[1] and Llanberis. In

[1] By the late Mr. **Joshua Trimmer.**

[2] *Elain*, a fawn.

[3] The Black Mountain.

[4] On a grander scale this concentration of boulders is well seen in places on the lower terraces of the rivers St. Lawrence and Ottawa.

the latter case this was effected as far as the lower end of Llyn Padarn, on either side of wich, and of Llyn Peris, the glacier, having escaped from the narrow Pass, spread itself out over the high grounds by the slate-quarries, and also flowing across Clegyr, as shown by the *striations marked on the map*, it left the Drift untouched towards the Turbary plain that lies between Clegyr and Bethesda.

Lacs barrés par des moraines.

R. 14. Before leaving the subject of the Welsh moraines and Drift, I must again call attention to the fact that many of *the lakes are partially dammed up by moraines,* and some of them apparently owe their existence to these ice-formed mounds in a manner altogether peculiar.

The mouth of a valley is surrounded by a mound or series of united mounds curving outwards, formed of *earth, angular, subangular,* and sometimes *smoothed and scratched stones,* so truly moraine-like in their arrangement, that their origin and the places whense they came are unmistakeable. A deep clear lake lies inside, and the drift of the glacial sea, full of boulders, slopes right up to the outside base of the *moraine,* with a long *smooth outline*, showing that the glacier descended to the sea level, and pushing for a certain distance out to sea, formed a marine *terminal moraine*, while ordinary drift detritus, partly scattered by floating ice, was accumulating beyond. In the meanwhile the space on and beyond the sea level occupied by the glacier was kept clear of débris; and when the land arose, and the ice disappeared by an amelioration of climate, the hollow within the terminal moraine became replenished with the water drainage of the surrounding hills, just as in earlier times it was filled with ice formed by a drainage of snow.

Such in Caernarvonshire are the lakes of Llyn Dulyn[2] and Mellynllyn[3], about two miles N. E. of Carnedd Llewelyn; of Fynnon Llugwy, between Carnedd Llewelyn and the road from Llyn Ogwen

[1] Long since noticed by **M. Darwin.**

[2] D. A. Illustration: Sketch map showing the course of the **Glaciers of Snowdon** and its neighbourhood. — Cette carte rend parfaitement compte du terrain erratique et de l'action des anciens glaciers à une certaine époque, qui n'était pas l'époque de leur plus grande extension.

[3] *Dulyn*, Black Pool.

[4] Big Horse Pool.

to Capel Curig; of Cwm Elen and of Marchlyn-mawr[1] and Marchlyn-bach[2], in the high recess between Elidyr-fawr and Moel Perfedd, near the path from Llanberis to Nant Francon. Judging by the present average elevation of these lakes, when the moraines that confined them were formed, the highest parts of the mountains of Caernarvonshire could not have been more than from 1400 to 2000 feet (425 à 610 mètres) above the sea.

In those cases where ordinary terrestrial moraines form the confining barriers of mountain lakes and tarns, it is, as already stated, not to be supposed that the depths of these moraines is always equal to the profoundest depth of the lakes. The contrary, I venture to say, is often the case, although I have had no opportunity of sounding Llyn Llydaw, Llyn Idwal, and several other deep lakes, where I believe this will be found to be true. I have already said, that it seems to me probable that such rock basins were ground out by heavy loads of ice, which in their onward progress scooped deep hollows in parts of their channels; and this might easily be the case, when this grinding action lasted after a glacier had retired above the position of the present lake barrier, so that the waste of the rocky floor being long continued, by degrees the glacier wore out a depression deeper and deeper, till on its final retirement the space once occupied by ice, became filled with the water drainage of the valley. As in Wales, so also I believe that this was probably the case in the valley of the Aar, above the Kirchet. It also seems probable that the same process helped to form the hollow of the Märjelen-see, on the east side of the low ridge covered by ice that separates that valley from the deeper hellow through which the Aletsch glacier descends.

Lac de Märjelen au glacier d'Aletsch (Alpes).

R. 15. This most interesting lake is bounded on the west by a protruding portion of the Great Glacier of Aletsch, ending in a cliff of ice, from which fleets of small icebergs frequently break. In older times a branch from the main glacier filled the space now occupied by the lake, and passing further east united the glaciers of Aletsch and Viesch. But a change of climate lessened the size of the Alpine gla-

[1] Yellow Pool or Lake.
[2] Little Horse Pool.

ciers, the uniting stream of ice gradually melted, it shrunk upwards, and all that now remains is the projection ending in an ice-cliff, washed by the waters of the lake. Old moraines furrow the sides of the bounding hills, and the lower end of the lake is partially dammed by moraine matter, which, by approximate measurement, I found to be about twenty-five feet (7m,60) thick from the surface of the water to the rock on which it lies.

The ice touches the bottom of the lake. To ascertain its depth was a matter of special interest to me, as a means of comparison with some of the lakes in North Wales; and I was not at the time aware that at intervals of eight or ten years it is drained by a temporary passage, opened through the ice of the Aletsch glacier. To sound it I borrowed a line from **Dr. Tyndall.** We parted on the glacier on a fine afternoon last August, and while he started with *Bennen*, the guide of the Æggischhorn to pass the night in the cavern of the Faulberg on is way to the summit of the Finster-Aar Horn, I set to work with line and plummet. I was assisted by *Christian Lauener*, the guide of Lauterbrunnen. For the first two observations he secured me by a rope passed round my waist, but growing bolder with practice, I dispensed with this safeguard during the remaining observations, and contented myself with a place cut in the ice in which to plant my foot. The work took about two hours, for the crevasses are so frequent and broad, that it is impossible to walk straight along the edge of the icecliff, and we were often obliged to make detours to reach the points from which I wished to take the soundings. As might be expected, the lake is shallowest near the sides, and deepest near the middle, where the cliff of ice lowers till its edge is only a few feet above the water. The greatest height of the cliff obove water was sixty feet (18m,2). By seven accurate soundings, I ascertained that the depth of water by the ice-cliff varies from thirty-four to ninetyseven feet[1] (10m,3 *à* 29m,5).

It may be that this inner hollow was scooped out by ice in the manner above suggested.

Next day but one, I returned alone to make some further obser-

[1] The Temperature of the water near the ice was 3° Cent., and further off it rose to 3° 1/2 at 6.30 P. M.

vations on the glacier between the Märjelen-see and the ridge beyond the Bettenhorn, and I was surprised to find that a large part of the ice-cliff I had walked along had broken away, and was floating about the lake in a prodigious number of white icebergs, some of them bearing stones and boulders, like the bergs in a little fiord of an Arctic Ocean. — As they melt these bergs discharge their occasional freights over the bottom of the lake. The day after, while enjoying the scene, one of them becoming topheavy from the more rapid melting of the ice below the water, rolled completely over with a great roaring noise of displaced waters pouring down its sides, calling to mind the descriptions by Arctic voyagers of the turmoil caused by the occasional complete reversal of the great icebergs of the Atlantic that have travelled from the coasts of Greenland.

Lacs dans le nord du Pays de Galles.

R. 16. In still weather many boulders may be seen scattered over the bottom of the Lakes of Llanberis; and since visiting the Aletsch glacier I have often thought, that an episode, in the glacial history of the Pass may have been that these blocks of stone were scattered by icebergs broken from a glacier that descended into the lake, like the cliff of ice that now overlooks the Märjelen-see.

The erosion of such hollows by ice also seems strictly analogous to that which scooped out the more perfect rock-basins, not only of the lakes and pools in ordinary glacier-valleys (such as those of Cwm-glas on Snowdon, and of Llyn Cywion above Nant Francon)[1], but also of those that lie on high passes and watersheds, like the Todten-see, between the Grimsel and the Valley of the Rhône; or again, on high surfaces, like the tarns on some of the rough tablelands between Ffestiniog, Nant Gwynant, and the river Conwy; or, on the once mammillated but now half-weatherworn surfaces of gneiss, where a network of pools, tarns, and lakes by the score, may be seen from the sharp peak of Suilven, for instance, in Sutherland, the basins of many of which were seemingly scooped out, when, like the north of Greenland, the land, all save the roughest crags, was covered by a vast sheet of thick ice that descended below the present level of the sea. The producing cause of these pe-

[1] D. A. Illustration : Passage de Llanberis.

culiar hollows that I have seen in Wales and Switzerland, was probably an immense weight of super-incumbent ice pressing and grinding *downwards and outwards*, over high, flat, and sometimes broad watersheds and table-lands, during that period of intensest cold that produced the glaciers of Wales, and the great original extension of the glaciers of Switzerland.

Surfaces polies et striées.

R. 17. The gradual destruction of ice-worn surfaces is also a point of considerable interest and importance, for, though these signs must endure for many ages, still they are hastening to decay. When the turf and glacier débris is lifted, though the underlying surfaces of cleaved slate often retain a perfect ice-polish, yet, after long exposure, the smoothness and finer markings disappear; and though the general rounded form remains, the surface becomes roughened, and the highly-inclined cleavage planes present on their edges a slightly serrated aspect. The deeper flutings, however, often last for a long time; but even these at length vanish, though it is not until long after this has been effected that the general rounded form of the *roches moutonnées* is entirely obliterated.

Phenomena of the same general nature are observable in the igneous and other uncleaved rocks over which a glacier has passed. The original polished surface, on exposure, becomes roughened by atmospheric disintegration; but the general form long remains to attest its glaciel origin, and in no case is there any danger of the experienced eye confounding this with those forms in gneiss produced by spherical decomposition, about which so much has been written. Finally, in the long lapse of time, air, water, and repeated frosts do their work, the rock splits at its joints, crumbles, masses fall off, and by degress it assumes an irregular and craggy outline, altogether distinct from the glaciated surface produced by the long-continued passage of ice; and thus it happens that on the very summit of some tower-like crag, the sides of which have been rent by the frosts of untold winters, the student of glacial phenomena sometimes finds yet intact the writing of the glacier; while below on its sides all trace of the ice-flood has long since disappeared. These things may seem almost incredible to those who are unaccustomed to read the records of many terrestrial revolutions in the rocks; but, nevertheless, of these extinct glaciers it is true, that

just as a skilful antiquary, from the wreck of some castle or abbey of the Middle Ages, can in his mind's eye conjure up the semblance of wat it was when entire, so the geologist, from the signs before him, can truthfully restore whole systems of glaciers that once filled the valleys of North Wales[1].

Anciens glaciers de la Suisse et glaciers du Pays de Galles.

R. 18. But these things being true, what relation in Time is there between the old glaciers of Switzerland and those of Wales? The elements from which to attempt a solution of this question are few. First, it may be said that the signs of *glaciation* in the former extension of still existing Swiss glaciers, are not only identical in all respects with those of the *extinct glaciers of Wales*, but also that in many an Alpine valley all the *ice marks* remain, even when no diminished glacier still holds its place amid its uppermost recesses. These in all respects may be compared to the ancient glaciers of the neighbouring Jura, the Vosges, or of Wales. Again, when we consider that the *great old glaciers* of the Oberland apparently opened out on the broad drift-covered territory that extends northward to the Jura, there is another point of resemblance. So similar in general structure and in all its adjuncts is this Drift with that of the north of Europe, that I see no reason whatever to doubt their identity. To add weight to this opinion, I may quote the high autority of **Mr. Smith** of Jordan Hill, who informed me, that he recollects seeing in the museum at Berne, a neglected collection of *shells* which he believes to be Swiss, arctic in their grouping, and *subfossil*, like those of our Newer Pliocene beds; and in the museum at Geneva a similar collection, among which was *Mya Udivalensis*[2]. Further, it is well known that in the more superficial deposits associated with these, the bones of the great hairy elephant (*E. primigenius*), and other mammalian remains, occur by the Lake of Geneva; near Zurich, and in other places. Besides these circumstances, though no one that I know of has yet proved the ploughing of drift out of the mouths of Swiss valleys by the older and larger glaciers, yet in every other respect the conditions are so identical,

[1] And in like manner of the Highlands of Scotland, and of Ireland, and the mountains of the Vosges. See **Hogard** and **Dollfus-Ausset.** *Coup d'œil sur le terrain erratique des Vosges*, 1848.

[2] See also Journal of the Geological Society, vol. xii, p. 120.

that I am prepared to expect that this also will be proved; and I cannot resist the conclusion that, when glaciers filled the valleys of Wales it was at that very time (the Newer Pliocene epoch) that the glaciers of Switzerland attained their great original extension[*].

Glaciers de l'Himalaya.

Further, in spite of the modern fact that far south of the equator the cold is greater than in equivalent northern latitudes, it is difficult not to speculate on the probable existence of a climate perhaps somewhat colder for nearly the whole world, during what is often called the *glacial period*; a period when not only the Alps, but all Scandinavia, were full of great rivers of ice descending into the sea[**]; when the White Mountains of North America also had their glaciers[*], and when the great glaciers of the Himalaya, as described by **Dr. Joseph Hooker**, descended 5000 feet (1525 mètres) below their present levels, the older moraines being in one instance only 9000 feet (2745 mètres) above the sea, whereas the present end of the glacier lies at a height of 14000 feet (4267 mètres alt.).

Anciens glaciers et période humaine.

R. 17. *What relation have these extinct glaciers to the human period?* This is a subject on which we still are in the dark, but considering that in Newer Pliocene bone-caves flint knives have been found, — there is reason to believe coeval with elephants, rhinoceroses, and other Mammalia partly extinct; — and that in France, at Abbeville and Amiens, well formed flint hatchets of an old type occur in fresh-water and marine strata of so-called *Upper Tertiary* date[*]; and also, that a human skull was dug out of the so-called Pliocene volcanic tuffas of Auvergne under circumstances at the least suspicious, it is possible, and perhaps even probable, that, long after the Drift was raised above the sea, the eyes of men may have looked upon the glaciers of Wales, when, in their latter days, the ice had shrunk far up into the highest recesses of the mountains.

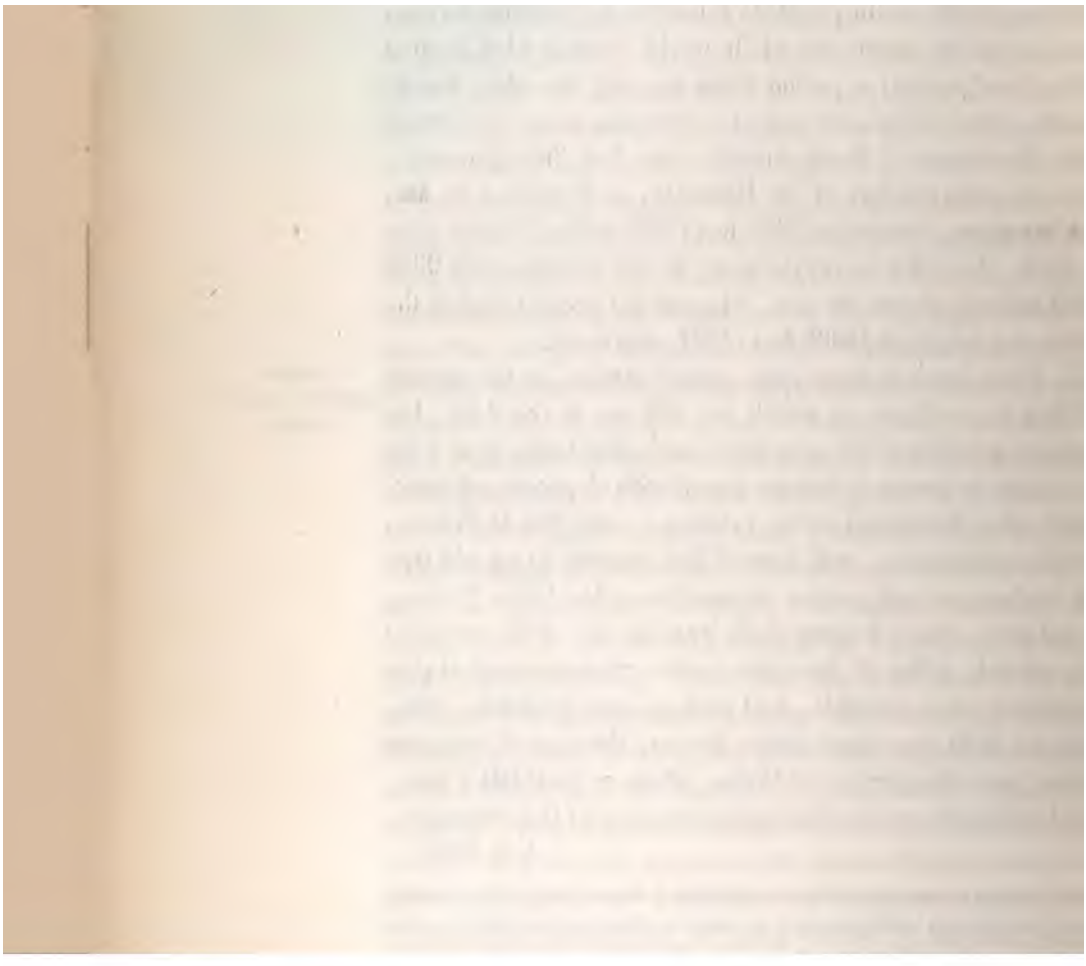
A. C. Ramsay.

[*] D. A. Les altitudes où cessent les roches moutonnées, polies et striées. — Les localités où on trouve les matériaux erratiques sur le sol, sont la preuve que les glaciers occupaient ces emplacements, mais ce ne sont pas les limites de *leur plus grande extension* (*voy.* nos *Matériaux :* Glaciers en activité, t. V).

[**] D. A. Remplis de glaciers.

[*] So I was informed in 1857, in conversation with **Agassiz**.

[*] Confirmed by Prestwich.



CONFIGURATION DES ALPES.

Introduction.

T. 1. Pendant les sept derniers étés j'ai eu l'occasion de visiter es Alpes, et je me suis trouvé sur plusieurs positions qui permet-aient d'avoir une vue d'ensemble. Pendant que je me trouvais dans es positions exceptionnelles, j'ai souvent réfléchi sur les agents qui avaient donné à cette portion de la surface de la terre une forme aussi remarquable. Comment les collines ont-elles durci? Comment es vallées se sont-elles ouvertes? Je pense que la simple inspection les montagnes vues d'un point de vue élevé suffit à démontrer que es montagnes n'ont pas surgi par l'action de forces individuelles gissant au-dessous de chacune de leurs bases, et que les vallées ne proviennent pas simplement de ce qu'une portion des parties soule-vées n'a pu se maintenir en l'air. Probablement personne n'est assez arriéré pour concevoir une pareille théorie.—Évidemment il y a eu des élévations et des abaissements, mais il serait impossible de supposer que ces grands mouvements aient eu lieu d'une manière fragmentaire. On doit supposer qu'il y a eu une élévation générale de la terre produisant une espèce de protubérance, et la question qui se présente se réduit à déterminer comment la terre ainsi élevée a été tailladée de manière à revêtir sa forme actuelle.

Le pays doit principalement sa configuration à l'action des anciens glaciers.

T. 2. On peut se dire que, dans le soulèvement de la terre, des craquements et des fissures se sont probablement produits, et que es vallées peuvent être considérées comme les traces de ces cra-quements et de ces fissures agrandies par un travail de dénudation

[1] D. A. Extrait de la *Presse scientifique des deux mondes*, 1862, t. II. (*Sur la configuration des Alpes*, par **M. John Tyndall, F. R. S.**)

ultérieure ; mais la direction des vallées n'est point celle suivant laquelle les craquements et les fissures auraient eu lieu.

Généralement les vallées suivent les lignes de plus grande pente, tandis qu'avec la théorie précédente elles devraient suivre celles de plus grande tension. Par conséquent, les conditions mécaniques du problème nous conduiraient à donner aux déchirures une direction perpendiculaire à celle des vallées..... Un éminent géologue, avec lequel j'eus le plaisir de converser il y a huit ou quinze jours, appelait les vallées alpines *Auswaschungthäler*, c'est-à-dire vallées creusées par l'action de l'eau. Mais, depuis quelques années, une opinion contraire s'est graduellement fait jour dans mon esprit; et, cette année, j'ai complété une chaîne de raisonnements qui me montre qu'un excavateur plus puissant que l'eau a été employé à tailler le relief des Alpes, et **que le pays doit principalement sa configuration actuelle à l'action de ses anciens glaciers** [1].

Il faut un temps assez long pour travailler sur l'échelle surprenante des résultats que la glace a obtenus. Si les traces de cette action étaient moins indubitables, le jugement hésiterait avant d'accepter une conclusion proclamant la nécessité d'opérations si vastes qu'elles doivent sembler fabuleuses.

Vallée de Hasle.

T. 3. Cette année j'ai traversé pour la cinquième fois la vallée de Hasle (Oberland bernois), observant l'action des anciens glaciers sur les montagnes qui la limitent. Un million d'hivers ont passé sur ces rocs cannelés et taillades [2], et cependant ces cannelures et ces cicatrices sont aussi fraîches que si elles avaient été coupées la veille. Nous pouvons les suivre jusqu'aux bords de l'Aar, rivière qui a coulé pendant des âges dans la même vallée, et le peu d'im-

[1] D. A. L'acquisition d'une nouvelle vérité crée pour l'homme un nouveau sens dont il s'enrichit et par lequel il devient alors capable d'apercevoir et de reconnaître un nombre indéfini de problèmes qui, pour lui et pour les autres, demeuraient auparavant invisiblement cachés (**Justus Liebig**).

.... Les systèmes ne doivent jamais être que les résultats et les conséquences des faits (**de Saussure**).

.... Rien n'est beau que le vrai (**Arago**).

.... Je fais grand cas d'un oser et je sais tout ce qu'il vaut (**Cardinal de Richelieu**).

[2] D. A. Roches polies, striées et rayées par les glaciers (Gletscherschliffe.)

portance de changements opérés par son intermédiaire nous montre combien l'action de l'eau est relativement insignifiante.—Un glacier puissant occupait la vallée du Rhône. Je l'ai suivi tout le long de la vallée de Martigny, à une distance de plus de 80 kilomètres du terme du glacier actuel. Là, renforcé par les glaces descendant du Mont-Blanc, il s'est ouvert une route dans la direction du lac de Genève. Les roches moutonnées s'élèvent amoncelées les unes sur les autres auprès d'une station appelée *Évionnaz*, et là, comme dans la vallée de Hasle, la partie polie descend jusqu'au niveau actuel du Rhône, **ce qui montre combien l'action de la rivière a été faible, comparativement à ces grands effets, depuis la disparition des glaciers jusqu'à nos jours.**

Versant méridional des Alpes.

T. 4. La même pensée s'empare du voyageur sur le versant méridional des Alpes, où les traces des anciens glaciers sont beaucoup plus étonnantes encore que sur le côté septentrional.

Il y a deux ans, j'ai eu l'occasion d'inspecter le val de Tournanche, de Breuil à Châtillon. Cette année, j'ai traversé les cimes blanches de Breuil, erré sur les anciens sillons de ce massif, pénétré dans les plus hautes ramifications du Val-d'Ayas, et partout j'ai trouvé la structure des anciennes glaces. — En traversant le col Betta-Furka, et en regardant du côté du Val-du-Lys, on reconnaît immédiatement les traces d'un ancien glacier qui descendait des pentes du Lys-Kam. J'ai suivi l'action de cette noble vallée jusqu'à Grenonay-Saint-Jean; partout sur les flancs des vallées la même vérité était proclamée. Ce que l'air et l'eau ont accompli depuis cette époque n'est que d'avoir imprimé la trace de la dent du temps, résultat insignifiant en présence des *immenses sillons* qui avaient déjà été creusés.

A partir de Grenonay j'ai traversé le col du Val-d'Obbia pour me rendre à Alagna, et partout j'ai foulé aux pieds un terrain abandonné par la glace. Comme son voisin de la Lys, le Val-de-la-Sesia formait aussi le lit d'un puissant glacier. A partir d'Alagna j'ai traversé le Turloy. Les traces de la glace y sont magnifiques : sur les flancs du Val-Auzosca, en face de l'endroit où le glacier du mont Turloy joint celui de Macugnana, les rochers sont admirablement rongés. Depuis la vallée de Macugnana jusqu'à la base du Monte-Rosa on voit paraître les mêmes grands phénomènes démontrant

l'existence d'un état de choses si extraordinaire qu'il serait impossible de s'en faire une idée si les preuves de son existence étaient moins nombreuses et moins convaincantes. J'ai plusieurs fois exploré les vallées de Saas et de Saint-Nicolas : toutes deux sont des canaux tracés par les glaciers ; on peut surtout voir une expansion de rochers magnifiquement arrondis sur les bords de la vallée de Saas, à l'endroit où le chemin tourne pour remonter vers la Vallée-de-la-Fée. Ayant fini l'exploration de cette portion du pays, je sentis un désir très-violent d'explorer le Jura et d'observer par moi-même les *boulders* (blocs erratiques) semés sur ses versants. J'allai à Neufchâtel, je visitai la célèbre Pierre-à-Bot, j'examinai le caractère général de la matière semée sur ses versants, laquelle semble provenir de moraines. Des *boulders* de granit se trouvaient en abondance et dans beaucoup d'endroits ; on s'en servait pour tailler des pierres à bâtir. Comme on le sait, le Jura ne donne pas de granits ; il est composé de pierre calcaire. D'où peuvent provenir ces blocs? La chaux carbonatée est une roche en partie soluble ; par conséquent, quand elle est restée longtemps exposée à l'air, elle ne garde plus la marque des stries qui permettent de déterminer la direction du mouvement, quoiqu'elle conserve encore la forme générale donnée par l'action destructive du glacier. J'ai donc cherché des plaques qu'on aurait récemment privées de la couche protectrice de terre végétale, et j'ai été assez heureux pour en découvrir quelques-unes sur lesquelles les *traces du glacier* étaient marquées d'une manière très-visible. J'ai déterminé leur direction à trois endroits différents, et j'ai trouvé que toutes trois étaient dirigées vers le Mont-Blanc, qui est l'endroit d'où les anciens glaciers avaient reçu leurs charges. Ils les avaient charriées à travers le canton de Vaud et le lit du lac actuel de Neufchâtel, pour les déposer sur les versants actuels du Jura. Le chemin de fer entre Neufchâtel et Brienne a mis à nu plusieurs rocs taillés d'une manière très-nette ; la preuve de l'action des glaciers est aussi manifeste que dans les autres parties des Alpes. Le fait que la glace a pu traverser le pays, pour aller du Mont-Blanc jusqu'au Jura, fortifie l'idée que nous nous étions déjà faite de la grandeur du phénomène.

Les glaciers ont creusé les vallées alpines.

T. 5. Il est parfaitement certain que toute cette région montagneuse fut occupée par des masses prodigieuses de glace constam-

ment en mouvement. *Mais je ne crois pas possible de douter que cet agent n'ait pas eu la force de creuser les vallées alpines*, tandis qu'on ne saurait attribuer la même force à l'action descendante de l'atmosphère, car elle n'a même pas pu, dans la plupart des cas, détruire les traces superficielles de l'action des glaciers. Je crois beaucoup plus probable que *les glaciers ont été les excavateurs réels* et que leur rôle ne s'est pas borné à remplir les vallées précédemment creusées par l'action descendante de l'eau ; mais le choix n'est permis qu'entre deux suppositions.

Allons-nous prétendre que les glaciers ont rempli les vallées creusées par un agent démontré plus faible qu'eux, ou bien accorderons-nous qu'ils ont été les agents destructeurs qui ont fouillé les vallées qui coupent les montagnes ?

Je n'hésite point à adopter cette seconde manière de voir, qui va nous conduire à d'autres résultats, car, en suivant ce raisonnement, nous arrivons à reconnaître qu'un glacier se détruit lui-même ; en effet, plus il creuse, plus il se retire. Supposez que les vallées actuelles des Alpes soient remplies jusqu'au niveau des montagnes voisines qui les forment, *alors de nouveaux glaciers surgiront*. Mais chacune de ces vallées peut être considérée comme une espèce de fourneau qui envoie des courants d'air chaud vers les hauteurs et qui empêche la formation de la glace.— Il y a une semaine, je me trouvais sur le sommet du Grauhaupt, et je fus vivement surpris de la force avec laquelle des bouffées d'air chaud sortaient verticalement du Val-de-Lys. Les courants verticaux mis en évidence par la précipitation de vapeurs qui flottaient alors, étaient aussi énergiques que le tirage d'une cheminée d'usine. Ainsi, qu'on élève la terre, et nous avons une période glaciaire ; que la glace creuse la terre, et chaque pied qu'elle creuse amène sa propre destruction. Le glacier disparaît à mesure que la vallée s'approfondit. Finalement nous arrivons à un état de chose où la glace est parvenue à ses limites, qui ne peuvent plus que servir de témoignage à la manière dont les phénomènes se sont passés dans un âge géologique qui est loin de nous. Pour rendre compte d'une époque glaciaire, nous n'avons donc pas besoin d'avoir recours à l'*hypothèse*, *très-difficile à admettre*, d'un changement dans la quantité d'émissions solaires, ou un changement dans la température de l'espace traversé par notre

système. L'élévation du sol, phénomène qui accompagnerait naturellement le refroidissement graduel de la terre, suffit pour expliquer la présence d'une pareille époque, et la glace elle-même, en l'absence de tout autre agent naturel, suffirait très-bien pour détruire les conditions qui lui ont donné naissance.

TYNDALL. F. R. S.

DÉPOTS ERRATIQUES

DANS LA VALLÉE DU RHIN[1].

H. 22. Les *galets* du comblement du Rhin offrent toutes les formes qu'affectent les galets glaciaires constituant les *moraines profondes actuelles :* ils sont mélangés, comme dans ces moraines, à des débris à angles à peine émoussés, à surfaces imparfaitement polies ; et leur identité est aussi complète, incontestable que celle des diverses nappes erratiques des diverses sections du bassin inférieur et des hautes vallées, dans lesquelles l'œil le plus exercé ne parviendra jamais à trouver des différences indiquant et prouvant des origines différentes.

Galets du comblement du Rhin.

L'arrangement des matériaux[2] est le même sous les glaciers et dans la plaine d'Alsace ; les galets ne sont ni stratifiés ni imbriqués ; ils sont distribués sans ordre et comme noyés dans la masse des sables et des menus graviers. Nulle part, on n'aperçoit ces couches successives de cailloux rangés à la manière des tuiles d'un toit, marquant les accroissements des bancs, si bien décrits par **M. Daubrée.**

Ces matériaux ne sont pas lavés, mais ils sont enveloppés d'un limon jaunâtre de lehm, *de cette boue du glacier qui s'est produite pendant toute la période du comblement*, comme pour en marquer l'époque, et s'est accumulée ensuite sur différents points à sa surface, et qu'aujourd'hui les cours d'eau sortant des glaciers continuent à charrier ; en un mot, le comblement de la plaine d'Alsace,

[1] Extrait des *Recherches sur les formations erratiques*, par **H. Hogard**, in-8°, 233 pages. Atlas et illustrations nombreuses. Paris 1858 (paragraphes H. Hogard).

Ce mémoire fait suite aux *Phénomènes erratiques entre Bâle et Coblence* (voy. p. 307 à 332.

[2] D. A. Matériaux non remaniés par les eaux.

moraine profonde ancienne, est aux moraines profondes actuelles ce que la moraine frontale d'Obergesteln est aux moraines frontales actuelles du glacier du Rhône.

Ces divers dépôts offrant les mêmes caractères et se trouvant dans les mêmes conditions, n'était-il pas naturel de les rapprocher, de les réunir dans un même groupe? et surtout de les séparer des accumulations alluviennes dont ils n'offrent ni les dispositions, ni les caractères essentiels.

Le Rhin, dans les déplacements, dans les remaniements incessants des matériaux encombrant son lit, et tous les cours d'eau, agissant sous nos yeux, ont-ils jamais exécuté une nappe de comblement, même sur une petite échelle, comparable aux dépôts réguliers qui remplissent le fond de vallées? Les observations de **M. Daubrée** sur les caractères des îles ou bancs de sables et de graviers créés par le Rhin permettront-elles encore de le supposer?

Ces galets roulés du comblement du Rhin, dont la présence a pu donner un moment l'idée d'un transport exécuté par un courant, diffèrent-ils de ceux qui sont jetés sur les flancs des montagnes, sur des plateaux élevés ou qui constituent même les moraines frontales de nos vallées? Non, assurément, et si les eaux seules avaient la propriété de les façonner ainsi, il faudrait attribuer à leur action ces diverses accumulations, ou reconnaître que les cailloux arrondis et polis appartenant à des dépôts erratiques incontestables, leur présence ne peut plus désormais suffire pour prouver l'action exclusive des courants dans la formation des terrains dont il s'agit.

Le Rhin n'entraîne aujourd'hui aucun débris des hautes Alpes.

Le Rhin sans doute, use, corrode et polit les matériaux qu'il déplace et *roule* dans son lit, mais il les a trouvés sur place tout transportés et tout façonnés; il n'entraîne aujourd'hui aucun débris des Hautes-Alpes; jusque dans le bassin inférieur, les lacs qu'il traverse, ainsi que ses divers affluents, *offrant des obstacles infranchissables*.

Si l'on suppose, pour un moment, ces cavités fermées, ou non encore creusées, et l'action diluvienne alpine agissant en toute liberté pour combler la plaine d'Alsace, on doit admettre aux confluents de toutes les vallées latérales un mélange des matières transportées aussi bien que des eaux: et ce mélange pourtant n'existe nulle part.

Il fallait bien reconnaître la séparation et la superposition des comblements alpins et vosgiens, puisqu'elles sont visibles, incontestables et nettement tranchées ; et ces relations, qui s'expliquent naturellement dans le système erratique, ne se présenteraient pas dans des dépôts formés par des cours d'eau à une époque d'inondation générale.

Matériaux qui couvrent les moraines profondes.

H. 23. Les torrents des Alpes élèvent journellement leurs *cônes de déjection sur les moraines profondes ;* aux points où ils débouchent dans les vallées on voit le dépôt alluvien superposé au dépôt erratique, mais dans des conditions qui ne se rencontrent plus dans le bassin du Rhin, entre Bâle et Mayence.

Les surfaces unies et régulièrement dressées des moraines profondes sont recouvertes d'accumulations formant des bourrelets coniques, des *deltas inclinés*, et non de nouvelles nappes stratifiées parallèlement aux plans inclinés qui les supportent. Les coupes longitudinales et transversales font voir ces renflements successifs dont j'ai donné plusieurs exemples dans les croquis joints à mon mémoire sur la vallée du Rhin postérieur ; dans ces circonstances, la confusion n'est pas possible, les dépôts alluviens et erratiques sont parfaitement distincts.

En suivant chacune des chaînes des Vosges et de la Forêt-Noire, on rencontre une tout autre disposition, et la régularité de la nappe n'est interrompue nulle part, soit transversalement, soit longitudinalement, non-seulement à la rencontre des vallées dans lesquelles cette nappe se prolonge, mais encore d'une vallée à l'autre aux pieds des proéminences qui les séparent, bordent le bassin, et se relèvent brusquement au-dessus de la surface unie du comblement qui dessine à leurs bases une ligne parfaitement tranchée et paraissant de niveau.

Mais la supperposition en deux nappes dressées et parallèles des dépôts des Alpes, des Vosges et de la Forêt-Noire, qu'il s'agissait d'expliquer en faisant intervenir successivement un courant principal suivant la ligne de plus grande pente de la vallée, puis des torrents sortant latéralement de ces deux chaînes, n'est pas le seul fait à considérer dans le comblement du bassin du Rhin.

A la rencontre de deux vallées principales, le comblement n'offre pas un mélange confus de matériaux provenant de l'une et de

l'autre, comme cela serait dans les alluvions aux confluents des cours d'eau. Il se compose de deux nappes distinctes appuyées l'une contre l'autre, juxta-posées, et se prolongeant séparément en se raccordant sans inflexions à un même plan incliné; ailleurs, et quand le comblement latéral provient d'une vallée secondaire peu étendue, il y a encaissement et superposition, mais toujours séparation et absence complète de remaniements. L'explication que j'ai donnée de ces faits, je l'ai trouvée en quelque sorte *écrite sur le sol* en étudiant le régime des glaciers, et je l'aurais inutilement cherchée en observant le cours des torrents et des rivières, agissant suivant des lois souvent mal interprétées et comprises, mais dont les plus savantes hypothèses ne sauraient entraver le cours.

Le comblement diluvien qui *sort* des bassins de réception se prolonge dans la plaine du Rhin. Toutefois il offre les mêmes caractères dans les cirques élevés, dans toute l'étendue des vallées et dans la grande nappe : *les cailloux roulés, arrondis et polis se retrouvent partout indistinctement, aux pieds mêmes des rochers qui en ont fourni les éléments, à quelques mètres des sources des cours d'eau, aussi bien qu'aux points extrêmes des comblements;* et c'est une observation que j'ai faite et consignée depuis longtemps.

Cependant la présence de ces galets dans les comblements des hautes vallées indique beaucoup plus sûrement l'intervention de la glace que celle de l'eau; aussi **MM. Ch. Martins** et **Gastaldi** ont-ils commencé à admettre, dans les limites des anciens glaciers et jusqu'aux moraines frontales conservées, des moraines profondes recouvrant un diluvium plus ancien, et c'est un premier pas vers la réforme complète des alluvions anciennes, antérieures à l'époque glaciaire. — Il n'y a pas de terme moyen, et les nappes dont il est question sont ou des *moraines profondes ou des alluvions.*

Nappes de comblement transportées par les glaciers.

H. 24. J'ai surabondamment expliqué pourquoi je ne pouvais y reconnaître des dépôts formés par des courants, et déjà, en 1848, j'ai émis cette opinion, dans laquelle tout ce que j'ai observé depuis me porte à persister formellement, que le *transport des matériaux composant ces nappes avait été effectué par des glaciers* [1].

MM. Ch. Martins et **Gastaldi** admettent, avec moi, dans les vallées de la Suisse, des moraines profondes jusqu'aux moraines

[1] D. A. Et après avoir été déposés, souvent partiellement remaniés par les eaux.

frontales les plus avancées. Ce point établi et constaté, que deviendront les comblements inférieurs dans les contrées qu'ils considèrent comme l'ancien domaine des glaciers, et ceux qui forment les prolongements de ces mêmes dépôts jusqu'aux limites beaucoup plus reculées que j'ai cru devoir admettre et indiquer?

Évidemment des moraines profondes!

....Si la nappe supérieure, entre la chaîne du Mont-Blanc et Turin, est une moraine profonde, tout le comblement fait partie d'un seul et même dépôt, et c'est en vain qu'on y chercherait des limites séparatives; la couche supérieure, la surface étant incontestablement *erratique*, le masse entière à laquelle elle se lie intimement est *évidemment erratique*.

Et s'il en est ainsi, le prolongement au delà de la moraine frontale de Turin ayant les mêmes allures, les mêmes caractères, la même composition, les mêmes formes, la même régularité, est encore la nappe ou moraine profonde, et sa limite marquera le terme d'extension glaciaire à une certaine époque.

Enfin dans le bassin du Rhin, dans la Forêt-Noire et dans les Vosges, le comblement rentrera dans le même ordre de dépôts; et attendu qu'il n'a d'analogues que dans la région des glaciers anciens et actuels, qu'il n'offre aucun des caractères des formations dues à l'action des cours d'eau, qu'on ne peut établir aucune différence entre la moraine profonde actuelle et les diverses parties de ce comblement, il n'est plus possible aujourd'hui de leur appliquer la qualification *de diluvium*.

On pourrait encore supposer, surtout si l'on ne voulait tenir aucun compte des formes et de l'arrangement des galets, que la régularité de la surface des nappes des hautes vallées est due à l'action glaciaire, et que cette action s'est produite en second lieu quand déjà les bassins avaient été comblés par des torrents. Il faudrait alors admettre que toutes les *parties nivelées* de ces nappes ont été soumises à la même cause, et finalement reconnaître l'extension des glaciers jusqu'aux extrémités de ces nappes aussi correctement dressées, entre Bâle et Mayence, que dans les cirques des hautes vallées: le diluvium deviendrait alors une conception inutile, surabondante, à laquelle on n'a renoncé que partiellement jusqu'ici, parce qu'on a voulu arbitrairement fixer les limites des anciennes régions

des glaces, avant d'avoir pris la peine de les rechercher et de les étudier convenablement.

Mais les faits géologiques ne sauraient se restreindre suivant notre volonté : les glaciers ont imprimé sur le sol des traces irrécusables de leur passage et de leur séjour, et cependant quand tous les géologues n'admettent pas encore[1] les *roches polies et striées*, preuve que l'on peut voir, toucher et comprendre sans peine, *est-il donc surprenant que le diluvium conserve encore de fervents partisans?* Les accumulations erratiques offrent des caractères saillants qu'on ne pourra pas toujours nier, et on aura beau faire, on ne parviendra pas plus à démontrer que le comblement de la vallée du Rhin est un dépôt fluviatile qu'à rendre compte du transport des blocs alpins dispersés sur le Jura[2] par des courants boueux.

L'assise n° 3 ou supérieure du terrain de comblement de la vallée du Rhin est composée de *lœss* ou *lehm*[3], limon argileux, parfois chargé de particules très-fines de mica; sur quelques points, le sable quartzeux très-fin y devient prédominant. — Quelques géologues (non glacialistes) prétendent que le *phénomène* qui a donné lieu à la formation de l'assise supérieure du comblement, composée de matériaux distribués de telle sorte qu'on ne pourrait guère, selon eux, en rapporter le mode de *transport qu'à des courants violents*, ayant perdu de son énergie, aurait été remplacé immédiatement par un autre phénomène prenant derechef son centre d'activité dans les Alpes. Et le Rhin prédominant de nouveau, par sa force locomotive, sur ces affluents latéraux, aurait inondé alors la plaine de la masse de ses eaux boueuses (mais cependant, *malgré cette force de locomotion, il ne charriait plus de graviers ni de galets*), et le lehm se serait déposé et consolidé *dans tout* l'espace compris entre les Vosges et la Forêt-Noire.

Ainsi le lehm et les moraines (frontales) étant superposés à tous les *dépôts antérieurs*, seraient les représentants du dernier terme de la série.

[1] D. A. Les uns ne veulent pas voir. — D'autres ne sont pas assez indépendants *pour oser voir.*

[2] D. A. Et partout ailleurs.

[3] D. A. Boue de glacier.

Le lehm est évidemment la boue des anciens glaciers ; on ne peut pas le considérer comme un depôt distinct et séparé de la masse du terrain erratique.

Lorsqu'il recouvre une nappe de galets, son dépôt évidemment a eu lieu postérieurement, mais cette relation, cette superposition ne prouve nullement que le *lehm n'a commencé* à se produire qu'en second lieu et à une époque plus récente.

Lehm (boue glaciaire).

H. 25. Le *lehm*, dont nous voyons des amas isolés à la surface du comblement et sur les sommités des diverses proéminences, est *mêlé visiblement et incontestablement aux matériaux dont se compose ce comblement.* La boue qui enveloppe les galets des moraines frontales de la vallée de Wesserling, enveloppe également les galets, les sables et graviers de la plaine du Rhin, *dans la masse entière du dépôt* [1].

Le lehm, qui continue à se produire comme toutes les autres parties du terrain erratique, ne forme cependant pas de couches dans les nappes profondes ; la boue glaciaire se mêle aux matériaux de ces nappes ; mais pour que cette boue s'accumule et donne lieu à des dépôts d'un limon argileux, il faut qu'elle soit lavée, que ses parties les plus tenues soient transportées par les eaux jusque dans des bassins où le sédiment puisse se déposer lentement, et, on le comprend, il faut en même temps que les eaux soient calmes ; la moindre agitation retarderait ou empêcherait même les éléments du lehm tenus en suspension, de se séparer et de se précipiter.

Le lehm ne se dépose dans aucune des rivières des Alpes ; on voit seulement quelques couches boueuses sur leurs rives quand les eaux ont été momentanément retenues, tandis qu'il s'accumule journellement au fond du lac de Genève, dans lequel le Rhône vient jeter ses eaux boueuses, qui, après un assez long trajet, en sortent pures et limpides ; dans les lacs moins étendus il ne se dépose que partiellement.

Le Rhin, dont la vitesse est moins grande que celle d'un fleuve inondant toute la plaine, entre les Vosges et la Forêt-Noire, ne forme plus de nouveaux dépôts de lehm, quoiqu'il soit chargé de boue, et il en serait autrement s'il se dérivait et se reposait dans

[1] D. A. Dépôt non remanié par les eaux.

des bassins convenablement disposés. L'étage supérieur n'est donc pas un dépôt fluviatile, puisque nous n'en retrouvons pas le moindre exemple dans un fleuve coulant avec moins de rapidité que ses grands courants descendant des Alpes.

La plaine d'Alsace a-t-elle été occupée par un grand lac au moment du dépôt du lehm ?

La plaine d'Alsace a-t-elle été occupée par un grand lac au moment du *dépôt du lehm?* Je ne le pense pas et je ne vois pas de motifs pour le supposer [1]; cependant il faudrait bien revenir à cette hypothèse si l'on admettait que le lehm *a rempli tout l'intervalle compris entre les Vosges et la Forêt-Noire.* Mais viendrait ensuite la difficulté d'expliquer le morcellement de ce dépôt et sa complète dispa-

[1] D. A. Sur le versant nord des Alpes nous voyons, dans les vallées depuis longtemps abandonnées par les anciens glaciers, des lacs d'une grande étendue : lac de Genève, de Constance, des Quatre-Cantons, de Neuchâtel etc. Sur le versant sud, les lacs : Majeur, de Côme etc. — Dans les régions plus élevées, à 1800 mètres altitude et plus, les lacs du Grimsel, de l'Engstlen, le Bachsee au Faulhorn, 2300 mètres altitude; le lac du Saint-Bernard, 2620 mètres altitude etc. Nous voyons aux pentes terminales des glaciers en activité le lac Märjelen (glacier d'Aletsch). Nous en voyons sur les rives des glaciers, au glacier inférieur de l'Aar (l'Unter-Aar), à la base du Pavillon, 2300 mètres altitude. Nous voyons des lacs dans le glacier même de l'Unter-Aar, à la base du Thierberg, lac d'une très-grande profondeur, d'une superficie de quelques hectares. — Partout il y a des lacs nombreux et à de grandes altitudes dans les Alpes, dans les Pyrénées, dans les Vosges, dans la Forêt-Noire etc. — A l'époque des glaciers monstres, la plaine d'Alsace était couverte de glace de glacier (ce qui pour moi n'est nullement hypothétique) ; il existait alors, sans aucun doute, un grand nombre de lacs partiels, parmi lesquels il pouvait s'en trouver d'une grande étendue, dont les niveaux et les dimensions étaient très-variables. — Les eaux tenaient en suspension de la boue glaciaire. Ces lacs sont à prendre en considération pour expliquer certains dépôts de lœss ou lehm (boue glaciaire). Des glacialistes (des collaborateurs même qui, depuis quelques années, ont renoncé aux souliers ferrés et à l'alpenstock) me diront : Vous accordez aux anciens glaciers des dimensions et des étendues hors ligne. Les limites des roches moutonnées, polies et striées, et l'absence de tous matériaux erratiques volumineux dans les plaines d'Alsace, et les matériaux alpins qui se trouvent sur le Jura, et les moraines dans les plaines suisses, et surtout les roches à arêtes vives dans les Alpes au-dessus des polies n'autorisent pas à admettre ce développement glaciaire. — Je réponds : des observations positives me disent qu'à une altitude de 2600 mètres (approxim.), limite des roches moutonnées, polies et striées, les glaciers sont adhérents, solidement gelés au sol dans toutes les saisons, et par conséquent ils n'ont pas d'action sur les roches qui les encaissent, et ces polis ne sont pas les limites de l'ancienne extension des glaciers. Les glaciers monstres, couvrant à une époque tous les pics et crêtes des Alpes pendant des siècles, ces glaciers progressaient comme ceux qui sont encore en activité. Toutes les roches des Alpes, des Vosges, de la Forêt-Noire étaient couvertes de glaciers, et aucun fragment de roche ne pouvait tomber sur leur surface; à cette époque ils ne pouvaient déposer que des moraines profondes et de la boue glaciaire.

rition sur la plus grande partie de la surface du comblement, que des courants auraient entièrement bouleversée, et sillonnée de canaux d'écoulement dont on ne voit de traces sur aucun des points de cette immense plaine.

Si l'on considérait les amas isolés de *lehm* comme les témoins d'une ancienne masse, et en choisissant quelques cotes de hauteur, on arriverait à conclure que ce lehm s'élevant au plus haut à 450 mètres entre les Vosges et la Forêt-Noire, entre Heidelberg et Heilbronn à 260 mètres; enfin aux environs de Bonn à 65, la pente de la surface serait de 385 sur une longueur approximative de 100 à 120 lieues, soit 0,000808 à 0,00096, ou un peu moins de 1 mètre sur 1,000.

Mais il suffit de jeter les yeux sur la carte du bassin du Rhin pour comprendre immédiatement que le lehm ne se raccorde pas à ce plan incliné et qu'il est disposé en divers étages qui ne se rattachent pas les uns aux autres; ainsi, dans un espace très-resserré on le voit à Lutterbach, à la cote 255, à Mulhouse à 243; sur les plateaux de Brubach à 340, de Walbach à 379, et de Francken à 413.

Le sol des Vosges se relève dans la direction des montagnes, en suivant une inclinaison moyenne, qui n'est pas de un demi-degré à l'ouest, mais qui, à l'est sur l'Alsace, dépasse 6 degrés. Mais on le sait, tous les terrains de cette contrée, loin de se rattacher uniformément à ces deux plans inclinés, offrent une suite d'étages successifs indépendants. Il en est de même du lehm, dont chaque dépôt est une accumulation séparée, faite dans des conditions indépendantes d'un phénomène général de comblement boueux.

L'idée de soulèvements postérieurs destinés à produire le relèvement du lehm au-dessus de la nappe de comblement et sa distribution par étages *n'est pas soutenable.*

H. 26. Quels que soient les caprices d'un courant qui, sur une nappe de sables et de gravier, modifie et déplace son lit, il ne peut *s'élever* ou *s'abaisser* qu'en raison du volume d'eau débitée; que le Rhin se soit porté alternativement aux pieds de ces deux chaînes de montagnes, c'est une hypothèse qu'on ne peut admettre, puisque en dehors des terrasses bordant son lit on ne voit pas de traces de canaux d'écoulement, ni accumulations ni distributions de matériaux rappelant l'action d'un courant. Mais ce n'est pas de ces diva- Hypothèse des courants d'eau.

gations du Rhin qu'il s'agit ; pour expliquer la formation de dépôts de cailloux et de lehm sur les plateaux élevés, il faut aller plus loin et admettre l'inondation de la plaine et des coteaux, une inondation générale du bassin : il le faut, puisque certains géologues reconnaissent que le lehm a pu se placer sur les points où il se trouve, sans qu'il soit nécessaire d'invoquer des soulèvements postérieurs.

Cependant le fleuve n'avait pas une largeur permanente de 10 à 12 lieues, et le Rhin ne pouvait recouvrir le Vogelberg, à la côte 455, monter de 222 mètres au-dessus de Kembs, et laisser à sec la plaine de la rive droite ; et dans ce moment surtout couler avec moins de rapidité qu'aujourd'hui, puisque *forcément*, eu égard à la pente de la nappe, il devait avoir (avec cette hauteur *seulement*) une vitesse de plus de 15 mètres et débiter 47,700,000 mètres cubes d'eau par seconde.

Maintenant, je le demande, les solutions proposées sont-elles sérieuses ? devons-nous croire sans examen et sans preuves :

1° Que le Rhin a coulé seul, à une certaine époque, et avec assez d'énergie pour combler le bassin entre les Vosges et la Forêt-Noire ;

2° Que, chargé de débris alpins, il a franchi les lacs de la Suisse qui, selon certains géologues, *n'ont été recouverts par les anciens glaciers que bien postérieurement au comblement inférieur de la vallée ;*

3° Qu'ayant perdu momentanément de son énergie, des torrents latéraux *et violents* ont ensuite recouvert le diluvium alpin d'une nappe réglée longitudinalement et transversalement, et suivant un plan continu de Bâle à Mayence, quoique débouchant sur divers points dans le bassin ; et que ces torrents, de volumes et par conséquent de forces différentes, ont cependant produit les mêmes effets, un travail uniforme régulier ;

4° Qu'ensuite ils ont eu aussi leur moment de repos pendant que le Rhin, reprenant une nouvelle énergie, est venu couvrir la plaine de ses eaux boueuses ;

5° Que ce fleuve, suivant son caprice, inondant tantôt une rive, tantôt une autre, a formé des dépôts de lehm d'une légèreté et d'une mobilité extrêmes à près de 200 mètres au-dessus du niveau de son lit actuel ; qu'avec cette élévation le bassin n'était pas entièrement

noyé ; que sur la nappe inclinée et avec une lame d'eau de plus de 200 mètres, sa vitesse était plus faible qu'aujourd'hui ; enfin qu'après avoir créé un *sédiment évidemment lacustre*, lorsque sa marche était de plus de 15 mètres par seconde, il a détruit la masse principale de ce dépôt au moment où son volume et sa force diminuaient, et que cette immense érosion s'est arrêtée précisément à la surface même du gravier, sans attaquer cette nappe sur un seul point. Explications évidemment contradictoires et qui conduiraient tout simplement à une réforme complète, mais heureusement impossible des lois naturelles.

Je n'ai donc trouvé dans les observations auxquelles je fais cette réponse, aucun motif de motifier mes premières conclusions, et surtout aucune preuve de l'origine fluviatile des comblements des vallées du Rhin et des Vosges. — Je n'ai vu aucune différence entre les surfaces des nappes de comblement et leurs portions inférieures ; la masse appartient à un seul et même dépôt ; et ce dépôt recouvert par les *moraines frontales*, renfermant toujours des *galets erratiques*, tels que les glaciers continuent à les former sous nos yeux, et enfin du *lehm ou boue glaciaire*, comme élément constitutif, est à ces anciens barrages ce que les moraines frontales actuelles sont aux nappes ou moraines profondes des glaciers en activité.

Et faut-il encore le rappeler, le comblement du Rhin est une nappe régulière, un plan incliné qui se prolonge, sans solution de continuité, depuis les bords du Rhin jusqu'au fond des vallées des Vosges ; depuis l'extrémité inférieure du bassin jusqu'à la Via-Mala, et dans les autres vallées jusqu'aux pieds des premiers redans interrompant la ligne de pente de ces cavités. Au delà, le même plan incliné se retrouve par étages successifs jusque sous les glaciers actuels ; que les bassins soient larges ou rétrécis, la régularité est constante.

Un moteur tel qu'un courant n'agit cependant pas avec la même énergie sur tous les points de son cours : les rivières, les torrents perdent ou acquièrent de la vitesse suivant que leurs lits sont accidentés, élargis ou rétrécis ; ils ne forment des dépôts que sur quelques points ; ils creusent ou comblent dans des conditions données et connues ; et leurs lits, dans les accumulations de sables ou de graviers, loin de présenter une ligne de pente continue, comme la

nappe dont il est question, offrent une série de courbes, de renflements et de dépressions; sur leurs rives, les alluvions sont mamelonnées et les lits de déjection des torrents sont des cônes plus ou moins relevés et inclinés. En quoi donc le comblement du Rhin ressemble-t-il aux terrains formés ou remaniés par les cours d'eau?

Dans mes mémoires sur le terrain erratique de la vallée du Rhin et dans cette note je me suis plus particulièrement préoccupé de l'ensemble des dépôts, et j'ai négligé une foule de détails et de preuves que j'aurais dû réunir si j'avais eu à préparer une monographie des terrains superficiels de ce vaste bassin; je m'étais uniquement proposé de démontrer que les matériaux de comblement *n'ont pas été transportés par des courants.*

Les distances entre Bâle et Strasbourg, entre les Vosges et la Forêt-Noire, sont trop grandes pour que l'on puisse embrasser d'un seul coup-d'œil l'ensemble et les détails des dépôts; aussi, pour simplifier la question que je désire soumettre en terminant à l'examen de mes confrères, je choisirai une coupe transversale d'une vallée, offrant, sur un kilomètre au plus, un exemple des dispositions caractéristiques des *dépôts erratiques du bassin du Rhin.*

Ancien glacier de la vallée de la Moselle.

H. 27. La *moraine frontale* de Longuet, située au-dessous de Remiremont, marque la première station [1] de l'ancien glacier de la vallée de la Moselle. A partir de ce barrage on ne rencontre plus en descendant que des nappes profondes et des dépôts latéraux; cependant un amas de blocs énormes est jeté dans une vallée latérale à 4 kilomètres à l'amont d'Épinal; et un peu au-dessous de cette ville on aperçoit encore quelques blocs granitiques épars sur le comblement.

En suivant le cours de la Moselle jusqu'à Châtel, à environ 40 kilomètres à l'aval de Longuet, on aperçoit (pl. 3) constamment la nappe profonde qui se prolonge au loin et bien au delà; cette nappe, parfaitement réglée longitudinalement et transversalement, a été attaquée sur divers points et sillonnée par deux cours d'eau latéraux, l'Avière et le Durbion, et par les diverses branches de la Moselle qui exécutent continuellement, quoique sur une plus petite échelle, des travaux analogues à ceux que le Rhin pratique dans son lit.

[1] D. A. A une certaine époque.

Ici, le comblement offre tous les caractères du *diluvium :* les galets qu'il renferme peuvent, comme ceux du Rhin et des vallées affluentes des Vosges, être considérés comme des *galets roulés ;* ils sont de diverses formes pourtant, mais tous généralement polis et arrondis. Ils sont principalement granitiques (et sous cette qualification je comprendrai les galets de toutes les roches cristallines de la vallée) ; on y rencontre cependant, mais en très-minime quantité, quelques quartzites, quelques poudingues, quelques schistes, débris du grès des Vosges, du grès rouge et du terrain de transition de Bussang.

La largeur de la nappe, entre les coteaux bordant le bassin, n'est ici que de 800 mètres, et il ne faudrait pas une crue considérable de la rivière pour que toute sa surface fût recouverte ; aussi, dans l'hypothèse d'un diluvium, ne serait-il pas nécessaire d'imaginer un torrent puissant et violent pour rendre compte du transport des matériaux et de leur arrangement dans le fond de la vallée? et c'est précisément pour simplifier la question, sur le point délicat de la production et de l'alimentation d'un courant, que j'ai choisi un exemple dans cette localité. Toutefois, pour les dépôts des plateaux, il faudrait encore concevoir une lame d'eau de plus de 100 mètres et dépassant la ligne de niveau A B.

Si l'on voulait se borner à l'examen du fond du bassin, comme cela a été fait jusqu'ici pour l'Alsace, *le nivellement de la surface* ne paraîtrait peut-être pas une preuve suffisante de l'intervention d'un glacier, surtout si l'on voulait établir une distinction entre les *galets roulés*, qui s'y rencontrent, et les galets identiques renfermés dans les moraines de Longuet, ou façonnés par tous les glaciers indistinctement. Mais les distances à parcourir pour étudier une coupe transversale complète n'étant pas considérables, et le trajet d'une rive à l'autre n'offrant aucune difficulté, quelques instants suffiront pour vérifier et constater les faits suivants :

1° Sur la rive droite,

La nappe (n° 2 *a*) se termine au pied d'un escarpement fortement incliné de rochers calcaires, recouvert à son pied d'un revêtement incliné à 26 degrés d'argile sableuse, mêlée de galets granitiques et qui semble avoir été fortement comprimée (n° 2 *b*). Au sommet de l'escarpement, à environ 20 mètres au-dessus du niveau de la

nappe, on rencontre un dépôt argileux, *renfermant exclusivement des galets quartzeux*, provenant de la destruction du grès des Vosges (n° 2 *c*); et ce dépôt s'étend sur les sommités voisines à 74 et à 103 mètres au-dessus du niveau de la nappe ;

2° Sur la rive gauche,

Un revêtement semblable à la nappe s'applique contre l'escarpement calcaire, bordant un affluent, l'Avière : cet escarpement, à 19 mètres au-dessus du comblement, est recouvert par un étage de la nappe, composé des mêmes éléments identiquement disposés (n° 2 *a*).

Au delà de la route passant sur ce plateau, quand on monte vers Aubiay, les galets granitiques disparaissent complétement et l'on ne retrouve plus que des quartzites du grès des Vosges, seuls ou mélangés à quelques fragments de calcaires. Les coteaux séparant l'Avière de la Moselle, à 60 mètres au-dessus de la nappe, sont aussi recouverts de quartzites (n° 2 *c*).

Tous ces matériaux ont évidemment été transportés, soit dans le même temps, soit successivement par des courants ou par des glaciers.

Par des courants on n'expliquerait ni leur arrangement ni leur distribution en nappes presque horizontales, en revêtements inclinés, ni leur séparatiou en groupes distincts. On comprendrait encore moins comment ils auraient franchi les vallées transversales, telles que celles de l'Avière et du Durbion. Dans le fond de la vallée, la rivière n'exécute aucun travail de nivellement ; elle bouleverse, au contraire, les portions de la nappe soumises à son action.

Un torrent aurait dû débiter assez d'eau, non-seulement pour toucher les deux rives, mais encore pour submerger les coteaux dominant le bassin, en s'élevant de plus de 100 mètres au-dessus du niveau actuel de la Moselle ; et si l'on ne voulait pas admettre cette crue extraordinaire, il faudrait revenir à l'idée de soulèvements postérieurs pour produire ces divers étages.

Mais alors on retomberait dans une autre difficulté : dans un terrain de transport formé par un courant, tous les matériaux seraient confusément entassés, et, au point où nous nous sommes arrêtés, on aurait un mélange complet de tous les galets provenant des

roches d'amont ; il n'en est rien pourtant : les cailloux de quartzites et les galets granitiques sont séparés et diversement groupés.

Dans tous les cas, la nappe du plateau de la rive gauche, étant la même que celle du fond de la vallée, fait partie du même dépôt. Il y aurait donc eu d'abord comblement granitique, puis comblement supérieur provenant de la destruction du grès des Vosges, et, en dernier lieu, érosion d'une partie de ces dépôts, jusqu'à la surface actuelle de la nappe, et suivant un plan incliné régulier.

Mais sur la rive droite, le dépôt argileux renfermant des galets granitiques diffère essentiellement des accumulations du fond de la vallée et du plateau de la rive gauche. L'eau de la Moselle n'aurait même pu le toucher à aucune époque sans le délayer, sans l'entraîner et sans le détruire complétement. Puis, on peut le vérifier, les dépôt de cailloux du grès ne reposent nulle part sur les amas granitiques : ils font suite l'un à l'autre, et les amas de quartzites non mélangés ne descendent jamais au-dessous d'un certain niveau.

Tandis qu'en admettant l'intervention des glaciers, tout s'explique sans difficultés.

Le glacier principal de la Moselle occupait toute la vallée. En sortant des cirques granitiques de la chaîne, il ne pouvait avoir pour moraine profonde qu'un dépôt granitique : entre les sommités de la chaîne et Châtel, le grès des Vosges n'existe, dans la vallée, que sur quelques points ; aussi, à partir de Jarménil, des sables et des galets provenant de sa destruction commencent-ils à se mêler, en très-minime quantité, à des débris granitiques.

Les glaciers secondaires, sortant des vallées latérales ouvertes dans le grès, ou bordées de plateaux couronnés par ce terrain arénacé, ne pouvaient pénétrer dans le glacier principal et descendre jusqu'au fond du bassin ; entraînés latéralement, ils ont déposé latéralement aussi, et à diverses hauteurs au-dessus du comblement du bassin, leurs moraines profondes composées de bandes parallèles de galets granitiques à la partie inférieure et de galets quartzeux au-dessus.

Latéralement, sur les rochers calcaires, le glacier principal a produit des amas d'une boue provenant de la trituration de ces roches et mêlée aux sables et aux galets granitiques.

Sur les coteaux et sur tous les points envahis par les glaciers secondaires sortant de la région des grès, les argiles, tantôt assez pures, tantôt sableuses, deviennent graduellement calcaires ; mais ce qui les distingue surtout, c'est qu'elles ne renferment que des débris provenant de ces grès.

Distribution des matériaux de comblement d'origine erratique.

H. 28. Dans la distribution des matériaux des comblements on trouve encore de nouvelles preuves de l'*origine erratique de ces accumulations ;* il n'est pas toujours facile de déterminer les gisements d'où proviennent toutes les roches cristallines *roulées* dans les nappes profondes et dans les revêtements des plans inclinés ou des plateaux. Pour quelques-unes cependant il n'est pas possible de se tromper : les syénites rouges et violacées des Ballons sont des types parfaitement reconnaissables ; les serpentines se distinguent très-bien aussi de tous les autres galets ; les fragments de ces roches sont associés aux autres débris transportés, et, dans l'hypothèse de certains géologues, ils auraient inévitablement été jetés sans ordre dans les comblements et sur divers points de la vallée. Les courants des bassins de la Moselle et de la Vologne s'étant réunis, et ayant dû, çà et là, franchir des passages assez resserrés, auraient entassé confusément les divers débris entraînés par leurs eaux, *ce qui n'a pas eu lieu.*

Les syénites transportées par le glacier principal, sortant des gorges du Ballon et plutôt poussées vers la rive gauche par les nombreux et puissants affluents de la Moselotte, de Cleurie et de la Vologne, ne dépassent guère le milieu de la vallée ; sur la rive droite on n'en trouve pas le moindre débris ; les serpentines appartenant aux affluents de droite, de Cleurie et de la Vologne, suivent constamment cette rive droite, et parviennent rarement jusqu'au milieu de la nappe.

Vallée de la Thur (Vosges).

Sur les flancs des Vosges, et dans la vallée même de la Thur, après le défilé de Thann, la même distribution par bandes parallèles s'observe constamment : les mélanges accidentels, les perturbations n'ont lieu que dans les portions du comblement exposées aux remaniements incessants qu'opèrent les cours d'eau dans les limites de leurs lits : au delà la distribution est régulière et telle qu'on peut la prévoir en jetant les yeux sur les cartes topographiques et géologiques ; et c'est même au moyen de ces bandes de ga-

lets qu'on pourra rétablir les cartes des anciens glaciers, et comprendre les déviations plus ou moins sensibles qu'ils ont dû subir suivant la puissance et le nombre de leurs affluents. Y a-t-il quelque chose d'analogue dans le régime des eaux, dans les déjections des torrents et dans les alluvions des rivières?

Ce que je viens d'indiquer représente, sur une petite échelle, ce qui s'observe en grand dans la contrée autrefois envahie par le glacier du Rhin. Sur les flancs des montagnes des Vosges et de la Forêt-Noire, et dans toute la région des montagnes de la Suisse, le terrain erratique offre les mêmes dispositions; sur des plans inclinés on rencontre à chaque pas des accumulations de sables, de graviers, et de blocs, des bandes parallèles, intimement liés aux dépôts inférieurs des bassins et ayant évidemment la même origine.

Le comblement inférieur n'est qu'une portion des revêtements erratiques distribués dans les plaines aussi bien que sur les montagnes, et formant un ensemble que des causes locales, agissant isolément, tantôt avec calme, tantôt avec violence, auraient troublé et non produit.

Ces dépôts sont liés entre eux comme le sont les moraines profondes, frontales, latérales et superficielles, les amas de blocs, de sables et de galets des glaciers en activité. Pour faciliter l'examen et l'étude de ces *terrains glaciaires*, on les décrit isolément, mais on se garde bien d'en attribuer la production à des causes diverses; admettre qu'à l'époque de leur plus grande extension, les glaciers n'agissaient pas comme aujourd'hui, c'est vouloir nier l'évidence des faits et compliquer inutilement un problème dont la solution ne saurait offrir aucune difficulté.

Les partisans du diluvium ont déjà renoncé à ces torrents puissants auxquels on attribuait le transport des blocs erratiques sur les lieux élevés; ils en ont compris l'impossibilité. En réduisant, même encore de beaucoup aujourd'hui, la puissance de leurs courants, ils ne seront pas plus heureux; le bassin du Rhin n'a été inondé à aucune époque; le fleuve ancien a marqué les limites de son cours dans la masse erratique; elles sont comprises entre les terrasses bordant son lit actuel de Bâle à Neuf-Brisach; les rivières des Vosges en ont fait autant. Au delà, non-seulement on n'aperçoit aucune trace de l'action des eaux, mais on retrouve, à chaque pas,

des dépôts qu'elles auraient détruits, si elles avaient pu les atteindre à un moment quelconque.

Conclusions. Les formations erratiques sont toujours recouvertes par des dépôts alluviens.

H. 29. Les faits, les preuves sont donc pour nous; les traces de l'action glaciaire sont visibles et profondément marquées sur le sol de nos contrées; et le terrain erratique de la vallée du Rhin, des Vosges et de la Forêt-Noire est aussi nettement caractérisé, aussi incontestable que les moraines en voie de formation dans la région actuelle des glaciers : les formations erratiques *sont toujours recouvertes par les dépôts alluviens*, constituant, autrefois comme aujourd'hui, l'étage supérieur des comblements, et nulle part on ne voit de traces de ce diluvium antérieur aux moraines anciennes et actuelles, récemment introduit sans nécessité, sans utilité et sans preuves dans l'échelle des terrains superficiels.

Le 15 mai 1851. H. HOGARD.

DÉPOTS ERRATIQUES DE LA VALLÉE DE LA MEUSE.

Introduction.

H. 30. En 1848 je n'avais encore aperçu aucune trace certaine de l'intervention des glaciers dans la formation des dépôts superficiels de la région occidentale des Vosges, où l'on rencontre des comblements anciens ou récents offrant tous les caractères de nappes d'alluvions ou de sédiment, et sur lesquels viennent s'établir les cônes de déjection formés par les ruisseaux torrentueux.

Terrain de comblement.

H. 31. Dans le fond des vallées, les eaux continuent à augmenter graduellement la puissance de ces nappes par des additions successives de nouvelles couches de sédiment; à chaque crue elles débordent jusqu'aux talus des deux rives et déposent les détritus entraînés dans les bassins par les eaux pluviales. Ce travail incessant des cours d'eau, sur des plans inclinés dont la pente est très-faible, explique la formation de ces amas boueux renfermant quelques lits sableux et très-rarement des débris de roches, qui constituent, sans exception, la couche superficielle des nappes de comblement des vallées de l'ouest des Vosges.

[1] **H. Hogard**, *Coup d'œil sur les terrains erratiques des Vosges*, 1848.

La puissance de cette couche superficielle doit être assez considérable, à en juger d'après l'inclinaison des talus bordant les bassins ; mais il n'est pas facile de la constater, et jusqu'ici je n'ai pu recueillir des renseignements assez précis pour les déterminer.

Les rivières ne sont pas assez profondément encaissées, les coupures que l'on rencontre quelquefois sur leurs rives sont trop peu élevées, et les eaux étant presque constamment, ou à peu de chose près, au niveau de la surface des nappes, il n'est pas possible de pousser des fouilles assez loin pour reconnaître l'épaisseur du comblement alluvien et la base sur laquelle il repose ; aussi, à cet égard, on ne peut aujourd'hui que former des conjectures.

Il est probable cependant que sous les couches boueuses superficielles existent des accumulations de galets, de véritables moraines profondes, dont nous allons retrouver des traces hors du département des Vosges, en suivant le cours de la Meuse jusque dans les Ardennes, après avoir constaté, dans une vallée supérieure, celle du Mouzon, l'existence de dépôts évidemment erratiques, dont la présence est une preuve de l'*action glaciaire* dans toute l'étendue de la vallée, à l'époque de la plus grande extension des glaciers du système des Vosges [1].

Rive gauche de Mouzon (Vosges).

H. 32. Vers le mois de mai 1849 j'ai eu occasion de faire ouvrir une tranchée sur le flanc d'un coteau bordant la rive gauche du Mouzon, près du village de Rebeuville, et de mettre à découvert des rochers escarpés masqués en partie par des amas de terres et de débris provenant d'éboulements anciens. Les parois de ces rochers s'élèvent presque verticalement et forment un redan, vers le milieu du plan incliné à environ 45 degrés du coteau. Elles offrent, sur quelques points, des traces évidentes d'usures et quelques sillons, des karren résultant de l'action des eaux [2].

Dans un pli, ou sorte d'enfoncement latéral, à 15 mètres au-dessus du niveau du Mouzon, on a rencontré un amas de sables et de galets arrondis, ou offrant des surfaces planes et parfaitement polies, le tout disposé par couches irrégulières dans l'ordre suivant, du haut en bas (pl. 4, fig. 1) :

[1] D. A. A une certaine époque, qui n'était pas celle de la plus grande extension.

[2] Ces karren sont de l'époque erratique et analogues à ceux des rochers de Saint-Mihiel, dont il sera parlé plus loin.

a) Blocs anguleux imparfaitement arrondis ou frottés, enveloppés d'une terre argileuse. . . . . 1 à 2m

b) Argile jaunâtre et rouge 0m,20

c) Sable calcaire (ou fragments très-petits de calcaires usés et frottés) mêlé d'argile et de sable ferrugineux. 0m,40

d) Galets polis, arrondis et anguleux, libres ou réunis, sur quelques points, par un ciment ou tuf calcaire . . . . . 1 à 2m

Dans un autre pli, situé à quelques mètres de distance, on a rencontré un dépôt analogue, et le rocher formant une saillie, entre les deux amas, offrait des surfaces polies contre lesquelles j'ai trouvé plusieurs blocs parfaitement polis, dont l'un avait plus d'un mètre cube.

Ossements et dents d'éléphants dans des cavernes.

II. 33. Dans le courant de la campagne suivante (1850), des travaux ont été exécutés, à l'amont de Rebeuville, sur un éperon (*Abschwung*) que contourne le Mouzon, près du moulin de Villars, au confluent du ruisseau du Bany, et qui se rattache aux proéminences séparant ces deux cours d'eau A (pl. 4, fig. 3). Le chemin de Circourt, franchissant cet éperon, est établi entièrement en déblai, et de chaque côté de la tranchée, dont la profondeur est d'environ 3 mètres, on voit un dépôt de sables, de galets et de lehm ferrugineux renfermant des grains arrondis de fer hydroxydé, des *ossements et des dents d'éléphant*, *d'ours des cavernes* etc. ; dans le fond de la fouille le calcaire constituant l'éperon est mis à découvert, et sa surface inégale offre plusieurs relèvements verticaux dans le dépôt superficiel élevé de 20 mètres moyennement au-dessus du niveau du Mouzon.

On remarque ici, comme à Rebeuville, une sorte de stratification, et quoique les galets forment des lits interrompus, renflés et irréguliers, il ne saurait y avoir de doute sur l'intervention de l'eau dans l'arrangement de ce dernier dépôt, auquel on s'est empressé d'attribuer une origine diluvienne.

La coupe (pl. 4, fig. 3) fera comprendre que le dépôt dont il s'agit forme une calotte au sommet d'un mamelon calcaire recouvrant des roches moutonnées, et non une accumulation remplissant une de ces fentes si communes dans la région du calcaire jurassique.

Si l'on attribue à ce dépôt une origine diluvienne, et si l'on veut expliquer le transport et le dépôt de l'amas argileux et des fossiles qu'il renferme par l'action des eaux, il faudra rechercher les causes d'une élévation extraordinaire du Mouzon et du ruisseau du Bany, non-seulement jusqu'à 20, mais encore jusqu'à 30 mètres, puisque les débris transportés se retrouvent au-delà du point que franchit le chemin en remontant le plateau; avec cette hauteur, le courant aurait eu de 5 à 6 mètres de vitesse par seconde et, pour une section de 1800 mètres seulement, aurait débité environ 9000 mètres cubes dans le même temps. Au confluent il aurait éprouvé latéralement un ralentissement qui aurait permis aux galets, aux ossements et surtout au lehm de s'arrêter sur l'éperon.

Mais les galets ne forment pas un étage distinct dans le dépôt: ils y sont intercalés en lits irréguliers et à différentes hauteurs; ils auraient donc été transportés et abandonnés sur le plateau en même temps que le lehm et sous l'influence du même courant, animé d'une vitesse suffisante pour opérer un charriage de galets et d'ossements lourds et volumineux, mais évidemment trop forts pour permettre au lehm de se déposer, les sédiments boueux ne se produisant que dans les bassins où les eaux sont stagnantes.

Les galets sont *roulés*, *usés*, *frottés* et *polis*. Ce sont des calcaires compactes, des *quartzites* et des grès durs du lias.

Ossements fossiles n'offrant aucune trace de frottement.

Les ossements fossiles n'offrent aucune trace de frottement, et cependant ils ne sont ni à la surface, ni dans une fente remplie postérieurement; mais ils sont à diverses hauteurs, et principalement vers la base du dépôt, mêlés et associés à des galets, souvent agglomérés sous forme de poudingue osseux par un ciment ferrugineux.

Les uns et les autres, ayant été transportés et remontés à 20 mètres au-dessus du fond de la vallée, et s'étant arrêtés au sommet de l'éperon, sans tomber à ses pieds, devraient offrir les mêmes traces de chocs ou de frottements, mais il n'en est rien, et j'arrive tout naturellement à cette conclusion: que les galets et les ossements abandonnés sur le platean de Villars n'ont pas été roulés jusqu'à ce gisement par des courants faibles ou violents; la parfaite conservation des uns en offre une preuve évidente, et leur présence dans des amas de galets roulés et polis, de roches triturées et étran-

gères à la localité prouve en outre qu'au moment où le dépôt s'est constitué, le mélange des matériaux dont il se compose s'est effectué lentement et dans le calme le plus complet, sans aucun mouvement de translation, conditions absolument nécessaires pour assurer la conservation la plus complète des fossiles et permettre aux galets de s'arrêter et au lehm de se déposer sur l'éperon.

On le voit donc, en admettant l'intervention d'un courant passant à 20 ou 30 mètres au-dessus du fond de la vallée, et ayant assez de force pour opérer le transport et le mélange des fossiles et des matériaux réunis sur ce point, il n'est pas possible d'expliquer les faits observés, et l'on n'arriverait pas à une solution plus satisfaisante si l'on revenait à l'hypothèse d'une inondation générale de la contrée ; dans un lac aux eaux chargées de détritus, le lehm aurait pu certainement se déposer, et sur d'autres points où il n'en existe pas de traces aussi bien que sur l'éperon de Villars, et envelopper des ossements d'animaux accidentellement amenés ou détruits au confluent des deux vallées ; mais évidemment les galets roulés n'auraient pu remonter jusqu'à la hauteur où ils se trouvent aujourd'hui.

A l'égard du dépôt de Rebeuville on arrivera nécessairement aux mêmes conclusions.

Les galets y sont usés et polis ; une surface du rocher offre des traces évidentes de frottements ; l'étage supérieur est formé de blocs anguleux ou imparfaitement arrondis, et d'un volume assez considérable ; des blocs d'un mètre cube, antérieurement frottés et polis, sont relevés à plus de 15 mètres au-dessus du niveau du Mouzon, et sous ce premier étage se trouvent des lits de sables très-fins.

Les eaux, d'abord assez calmes, auraient donc déposé sur la rive gauche de la vallée, soit contre des escarpements, soit sur un plan incliné à 45 degrés moyennement, des matériaux réduits à l'état sableux, des galets arrondis de faibles dimensions ; puis en s'élevant et en acquérant plus de force, elles auraient recouvert ces sables d'argiles mélangés de gros blocs, et sans détruire la base extrêmement meuble sur laquelle ces blocs reposent? Enfin, lors de leur retraite, le dépôt, qui offre des traces évidentes d'une forte compression latérale, n'aurait pas été miné à sa partie inférieure offrant si peu de consistance qu'elle glisserait et croulerait infailli-

blement si, pendant quelques instants, elle se trouvait, non pas exposée à l'action d'un courant qui la détruirait immédiatement, mais seulement imbibée et pénétrée par le plus mince filet d'eau.

Ces deux amas sont pour moi deux dépôts erratiques ; ce dernier, une portion de moraine latérale, et celui de Villars un dépôt lacustre placé au confluent de deux glaciers dans un petit lac, analogue à celui qui existe au pied de l'Abschwung, à la jonction des glaciers du Finster-Aar et du Lauter-Aar [1].

Dans un petit lac, des déjections boueuses ont pu s'accumuler et se mêler aux galets rejetés latéralement et principalement par le glacier du Mouzon ; s'arrêter sur ce plateau sans déborder la ceinture de glace enveloppant le bassin ; des ossements abandonnés au pied de l'Abschwung, ou sur les rives des glaciers ont pu y tomber et se mêler au lehm et à des galets arrivant tout façonnés, tout roulés et frottés au même point, comme cela a lieu journellement dans les lacs glaciaires, où l'on *retrouve*, dans les mêmes conditions, des ossements de chamois, de marmottes, de chèvres et de moutons de l'époque actuelle.

A Rebeuville, la portion de moraine appliquée contre et dans les enfoncements des escarpements du calcaire jurassique, a pu rester en place après la disparition du glacier ; des matériaux plus volumineux ont pu être rejetés sur des sables de trituration ; et ce dépôt glaciaire, distribué dans un ordre inverse de celui que l'on observerait dans une déjection alluvienne, n'a pu se maintenir que parce qu'évidemment il n'a jamais été atteint par les eaux du Mouzon.

La présence de ces premières traces incontestables de l'*action glaciaire* dans une des vallées affluentes du bassin de la Meuse, ne pouvait manquer de me faire comprendre la nécessité de rechercher l'origine des comblements de la partie inférieure de cette grande vallée, et par quelle voie des matériaux évidemment vosgiens auraient été entraînés jusque dans la basse Meuse et rejetés sur diverses proéminences à partir du bassin de la Moselle, vers les Ardennes.

[1] D. A. Ce lac, cité par l'ami **Hogard**, très-temporaire, n'existe plus depuis grand nombre d'années.

Terrain erratique dans les vallées de la Meuse et des Ardennes.

H. 34. « On sait que sur les bords de la Meuse [1] le sol contient une *grande quantité* de cailloux roulés de toutes grosseurs; tantôt ces cailloux sont disséminés, tantôt ils sont réunis par un ciment peu consistant; à cet état ils forment des massifs de rochers qui affluent dans plusieurs localités; on rencontre ces brèches sur les hauteurs de Saint-Privas (près Verdun etc.); les mêmes terrains se montrent aussi dans l'arrondissement de Commercy.

« En examinant attentivement la forme de ces fragments roulés, leur nature, on est porté à les reporter au système vosgien..... et la parfaite ressemblance que la plupart ont avec les poudingues vosgiens, *ne permet pas de contester leur origine.*

« La présence de ces dépôts (décrits sous la dénomination d'*alluvions anciennes*) sur les hauteurs qui bordent la Meuse près de Verdun peut, selon l'auteur, être expliquée par un volume d'eau plus considérable.....

Dans les Ardennes [2], des cailloux de la grosseur d'un œuf et au-dessus, *qui proviennent des roches des Vosges*, couvrent l'affleurement du calcaire ferrugineux, des marnes du lias et même le bord de l'oolithe inférieur sur la rive gauche de la Meuse, à 100 et 150 mètres au-dessus de son lit actuel. Ces produits *diluviens* se rencontrent surtout entre Mouzon et Frenois; ils forment aussi de petits coteaux subordonnés aux collines latérales et qui s'élèvent de 30 à 40 mètres au-dessus de la rivière..... On les retrouve encore sur les plateaux surbaissés de Létanne et de Beaumont, à 50 et 60 mètres au-dessus de la vallée, et assez loin de celle-ci; ils alternent par lits avec du sable et présentent *les caractères d'un dépôt tranquille.* Enfin on a cru remarquer les traces d'un courant qui, du bassin de la Meuse, aurait jeté sur les plateaux de Saint-Georges et dans la vallée de l'Aire des galets provenant du *diluvium* de la Meuse, en franchissant un col entre Cunel et Saint-Juvin.

Mouzon et Frenois.

Plateaux de Létanne et de Beaumont.

Diluvium des plateaux dans le département de la Meurthe.

Dans le département de la Meurthe, le *diluvium des plateaux* a pour caractère général [3] d'être composé d'une argile jaune d'ocre, jaspée de blanc, et de renfermer des cailloux arrondis, *exclusive-*

[1] **M. Gaulard**, *Description géologique du département de la Meuse.* Verdun 1836.

[2] *Statistique des Ardennes*, par **MM. Sauvage** et **Bouvignier**, 1842.

[3] *Aperçu de la constitution géologique de la Meurthe*, par **M. Levallois**. *Mémoires de la Société des sciences, lettres et arts de Nancy*, 1850.

ment quartzeux. On le trouve couronnant des plateaux élevés, jusqu'à l'altitude de 400 mètres, c'est-à-dire dominant les vallées de 200 mètres.

« Cette même argile se trouve cependant aussi dans le fond des vallées, mais mêlée alors, non pas seulement de *cailloux quartzeux*, mais de *cailloux granitiques ou autres, propres à ces vallées ;* dans ces conditions le terrain superficiel a reçu la dénomination de *diluvium des vallées*.

Conclusions. Des cailloux provenant des Vosges se retrouvent dans les vallées de la Meuse et de ses affluents, ainsi que sur des plateaux élevés.

H. 35. Tels sont les faits sur lesquels nous sommes tous d'accord, et qui ont été constatés et vérifiés à diverses reprises. On sait donc que des cailloux provenant des Vosges se retrouvent dans les vallées de la Meuse et de ses affluents, ainsi que sur des plateaux élevés ; que dans la Meuse et sur les plateaux jusqu'à la Moselle, ces cailloux sont exclusivement *quartzeux*, tandis que dans le fond de cette dernière vallée, et dans toutes celles qui viennent s'y jeter, les cailloux représentent toutes les roches propres à ces vallées, les quartzites, les granits, les diorites etc. Enfin que sur la rive droite de la Moselle, aussi bien que sur les plateaux qui dominent la Meuse on remarque des dépôts d'argiles mêlées de cailloux exclusivement quartzeux.

Aussi a-t-on divisé ces dépôts en deux étages, l'un nommé *diluvium des plateaux*, et l'autre *diluvium des vallées*.

Action des cours d'eau.

H. 36. Les cours d'eau actuels n'exécutent aucun travail analogue ; les matériaux qu'ils déplacent ou qu'ils charrient et déposent, sont tous *confusément entassés et mélangés ;* et la Moselle d'aujourd'hui, parcourant une contrée dont la constitution géologique n'a pas varié depuis l'époque dite *diluvienne*, n'a pas la propriété de séparer les cailloux provenant de la destruction du grès vosgien, de les rejeter seuls sur ses rives, et de ne conserver dans les limites de son lit que les galets granitiques et toutes les autres roches cristallines du bassin. Que sa puissance et sa force viennent à augmenter, et elle exécutera sur une grande échelle ce qu'elle produit en petit, en raison de sa force actuelle ; et qu'elle parvienne à s'élever à l'altitude de 400 mètres et à transporter des galets sur les plateaux des environs de Toul, de Verdun et des Ardennes, ou dans le bassin de la Meuse, ses déjections alluviennes offriraient un mélange de toutes les roches d'amont.

Cette différence essentielle entre les dépôts des plateaux et ceux des vallées, sur le versant de la Moselle, et l'identité des uns et des autres, dans le bassin de la Meuse, sont des caractères qui révèlent, d'une manière certaine, le mode de production de ces prétendues alluvions, et la nature de l'agent sous l'influence duquel elles ont eu lieu.

Col de Foug ou du val d'Ane (Vosges).

Un courant diluvien franchissant le col de Foug ou du val de l'Ane, passages les plus déprimés entre la Moselle et la Meuse, aurait eu une puissance et une vitesse très-grandes pour agir encore dans la basse Meuse; et cependant les dépôts dont il s'agit, ainsi que l'ont fort bien fait remarquer les auteurs de la statistique géologique des Ardennes, ont l'aspect de *dépôts tranquilles*. Sur les plateaux, les cailloux sont associés à des argiles qui n'auraient pu s'accumuler sur des lieux élevés, si elles avaient été entraînées ainsi que les galets par des courants violents.

S'il y avait eu inondation du bassin de la Moselle, et seulement déversement du trop-plein dans la Meuse, un lac d'une très-grande étendue aurait existé à l'amont de Toul; à partir des environs d'Igney, dans les Vosges, les eaux auraient été stagnantes, et le transport des matériaux de la région du grès des Vosges n'aurait pas été possible au travers des eaux tranquilles du lac, et jusqu'aux plateaux élevés de ses rives (pl. 4, fig. 7).

Épinal.

A Épinal même, le courant aurait dû s'élever à la cote de 468 mètres, puisque l'on rencontre sur les plateaux voisins de cette ville, à cette hauteur, des dépôts de galets quartzeux transportés, c'est-à-dire à 168 mètres moyennement au-dessus du lit actuel de la Moselle; à droite et à gauche, sur toutes les proéminences qui bordent cette vallée, on retrouve ces mêmes dépôts, tandis que les galets granitiques constituent le comblement inférieur; enfin un courant aurait entraîné hors du bassin de la Moselle un mélange de tous les matériaux constituant le comblement, jusqu'à la hauteur de Toul ou de sa dérivation présumée vers la Meuse.

J'ai déjà eu occasion de signaler les différences qui existent entre les dépôts du fond de la vallée et ceux qui couronnent les plateaux, en suivant le cours de la Moselle au-dessous d'Épinal, et d'insister sur la nécessité de chercher une autre cause à leur formation, à la translation et au triage des matériaux qui les constituent.

En jetant les yeux sur la carte géologique des Vosges, on voit que la région granitique ou des montagnes est séparée des formations calcaires et des contrées où les galets quartzeux se retrouvent exclusivement, par le grès des Vosges formant une large ceinture autour de ces montagnes, et qui s'étend au loin à droite et à gauche des vallées de la Moselle et de la Meurthe.

Cependant aucune des coupures ou vallées secondaires ouvertes dans cette masse arénacée n'est en communication directe avec la Meuse et n'a pu fournir les éléments des comblements qu'on y observe ; tous les cours d'eau aboutissant à la Moselle mêlent à cette rivière leurs eaux et leurs alluvions, et ce n'est que hors des limites des plus hautes crues que l'on aperçoit ces bandes parallèles de galets, constituant les terrains de transport, offrant un triage que les eaux auraient troublé et non produit.

Anciens glaciers des Vosges.

H. 37. Sur cette carte, et suivant les limites tranchées de chacun des dépôts, si l'on rétablit les *anciens glaciers des Vosges*[1], d'abord jusqu'aux accumulations de blocs erratiques les plus anciens, jusqu'aux premières moraines frontales, on comprend le mécanisme de la formation et du transport des différentes parties des terrains superficiels.

Le glacier[2] sortant de la région granitique jusqu'à la rencontre des premiers lambeaux de grès, ne transportait que des débris de roches cristallines, dont les moraines frontales, latérales et profondes sont exclusivement formées dans la haute vallée, tandis que, dans la région arénacée et au-dessous, des galets quartzeux sont venus s'y ajouter.

Mais les glaciers latéraux provenant des vallées du grès des Vosges, joignant le glacier principal et cheminant latéralement avec lui, ne pouvaient fournir que des débris de ce grès, et mélanger aux argiles et aux marnes provenant de la destruction des calcaires, que des galets quartzeux, les mêmes dispositions, les mêmes causes, dans diverses vallées, ont dû produire les mêmes effets ; et c'est ce que l'on observe dans le bassin de la Meurthe, et dans tous ceux qui ont leur origine dans la région granitique, aussi bien que dans celui de la Moselle.

[1] D. A. A une certaine époque.

[2] D. A. Toujours à une certaine époque, où ils n'étaient pas au maximum de leur puissance.

La moraine profonde du glacier principal, que ne pénétraient et ne pouvaient pénétrer les glaciers secondaires, comprend un mélange de tous les matériaux d'amont : aussi la différence signalée entre les comblements des plateaux et ceux des vallées est-elle parfaitement motivée.

Que ce glacier se soit étendu au loin, jusqu'aux limites extrêmes de la nappe de comblement et des déjections latérales sur les plateaux, on ne saurait en douter, si l'on veut tenir compte de l'ordre et de la distribution des dépôts.

A la hauteur des premiers plateaux couronnés de cailloux quartzeux, les glaciers latéraux se sont déversés sur les proéminences bordant le bassin, et ceux de la rive gauche ont pu franchir ces mamelons aussi bien que les cols pour se répandre dans la Meuse, et entraîner au loin avec eux les débris dont ils sont chargés, et consistant exclusivement en sables, en galets quartzeux mélangés à la boue glaciaire et aux détritus argileux et calcaires provenant de la trituration des formations locales.

La boue glaciaire s'est alors déposée soit dans le fond des vallées sur les moraines profondes, soit sur les plateaux ou sur les flancs des coteaux. Dans le premier cas elle constitue des nappes sédimentaires produites dans des bassins inondés ; et dans le second, des amas qui n'offrent plus les caractères des dépôts lacustres et de sédiment.

La boue glaciaire ou le lehm qui se dépose journellement dans les lacs alimentés par des courants sortant de la région des glaciers en activité, peut aussi s'accumuler sur certains points sans le concours des eaux ; on voit, à chaque pas, dans les Alpes, des exemples de déjections ou de coulées boueuses, sur des plans inclinés, dans l'intérieur et jusque sur les crêtes des moraines anciennes et actuelles, dans des défilés, où des courants ayant acquis une excessive vitesse s'ils étaient sortis de leurs lits actuels, ne l'auraient pas laissée en place.

Les faits observés dans la vallée de la Meuse, loin de révéler l'intervention de courants diluviens, semblent donc prouver l'*action d'anciens glaciers* dans la production des dépôts superficiels, de ces accumulations de sables et de galets placés *lentement* et *successivement* sur des plateaux élevés, où ils n'auraient pu s'arrêter s'ils

avaient été charriés avec une certaine vitesse, qu'il faudrait bien admettre dans l'hypothèse diluvienne.

Des glaciers seuls ont pu favoriser la production du dépôt de Villars, au sommet d'un mamelon situé au confluent de deux vallées; déposer sur les escarpements de Rebeuville des galets, des blocs et des sables de trituration; fournir les éléments des nappes stratifiées de lehm et en même temps des amas de détritus identiques sur les lieux élevés.

Les eaux auraient pu détremper les formations argileuses et calcaires d'amont, charrier et abandonner, sur les plaines basses, dans des circonstances données, les éléments d'un lehm diluvien; mais celui des plateaux non-seulement ne se serait pas déposé et mêlé à des galets entraînés des faîtes secondaires des Vosges, mais il eût été infailliblement entraîné avec ces galets si, à une époque quelconque, des courants avaient atteint les sommités qui en sont recouvertes; et faut-il encore répéter que des courants auraient encombré le lit de la Meuse et les terrains submergés de toutes les roches de la haute vallée de la Moselle indistinctement; que nulle part, dans le régime des rivières, on n'observe un seul fait, un seul exemple à invoquer à l'appui des opinions que je cherche à réfuter, tandis que, dans la région des glaciers en activité on retrouve une foule d'exemples des effets produits autrefois dans les Vosges et dans la Meuse, et l'indication précise, formelle, de la seule, *de la véritable cause à laquelle ils doivent être rapportés?*

Dans la formation de la partie superficielle des comblements des vallées de la Meuse on ne saurait nier l'intervention de l'eau; et les nappes superficielles, ainsi, que je l'ai dit, continuent encore à s'élever graduellement; mais les sédiments anciens sont recouverts par les déjections torrentielles qui s'étalent à leur surface; tandis que les bases de ces cônes s'unissent aux alluvions modernes et récentes, et marquent, par leur réunion, la limite des formations de l'époque erratique.

Les eaux ont aussi laissé des traces visibles de leur action, pendant cette dernière époque, en dehors des nappes sédimentaires recouvrant, selon toute probabilité, des accumulations plus ou moins puissantes de graviers.

En sortant de Saint-Mihiel, on aperçoit plusieurs rochers cal-

caires faisant saillie et coupés verticalement sur le flanc du coteau bordant la rive droite de la vallée. Ces rochers offrent des traces évidentes d'usure, de véritables karren que les eaux seules ont dû produire (pl. 4, fig.).

Rochers couronnés par un chapeau formant saillie. La base délitée par les agents atmosphériques.

H. 38. Ces rochers sont presque tous couronnés par un chapeau formant saillie, une sorte de corniche séparée du surplus de la masse par un sillon arrondi, plus ou moins profond, résultant non de l'action d'anciens courants, comme on l'avait présumé, mais de la décomposition d'une couche moins résistante et que les agents atmosphériques continuent d'attaquer et de corroder. Comme ces sillons paraissent être horizontaux ou peu inclinés parallèlement au cours de la Meuse, on aurait pu penser qu'ils avaient été creusés par les eaux de la Meuse, élevées extraordinairement à l'époque diluvienne.

Mais en examinant attentivement les sillons, on voit qu'ils suivent rigoureusement le parallélisme des couches calcaires ; que ces couches ne sont pas exactement dans le prolongement l'une de l'autre suivant un plan incliné régulier, et qu'il y a eu déviation par suite de légers plissements. Ainsi le rocher le plus éloigné de Saint-Mihiel, au sommet duquel on remarque un chapeau en forme de table (table du diable) posée sur un pied qui semble s'amincir tous les jours davantage, offre, sous cette table, un sillon incliné de un degré vers l'amont; au troisième rocher, en remontant, le sillon plonge de 4 degrés à l'aval; celui du quatrième de 1 degré seulement, tandis qu'au sixième l'inclinaison est de 1 degré à l'amont. Enfin les sillons que l'on remarque en outre sur les faces de ces rochers, à diverses hauteurs, ne sont plus parallèles à ceux de la partie supérieure, et ils ont au premier rocher, et vers l'aval, comme les couches dans lesquelles ils sont ouverts, 8 à 12 degrés d'inclinaison (pl. 4, fig, 6).

Mais sur divers points on voit d'autres sillons irréguliers et diversement inclinés dont les parois offrent des traces d'usure, et l'on remarque, principalement sur les faces verticales regardant le talus du coteau, des cavités circulaires nombreuses creusées plus ou moins profondément, ayant tous les caractères des karren et des marmites, et qui prouvent que les eaux ont exercé leur action sur ces rochers (pl. 4, fig. 5).

Serait-ce donc une indication d'inondations extraordinaires, et doit-on admettre que, si les eaux ont touché, comme cela paraît évident, les rochers et les coteaux bordant le bassin de la Meuse, près de Saint-Mihiel, la vallée a été autrefois envahie par un courant diluvien? Je ne le pense pas.

Un courant aurait pu corroder les couches les moins résistantes de ces rochers et y tracer des sillons inclinés comme ces couches elles-mêmes; mais il aurait entraîné et détruit les amas de sables appliqués sur les flancs des coteaux et dont on voit des exemples à l'amont, avant et après Commercy; de plus il aurait rejeté dans la vallée les galets et les argiles des plateaux.

Cavités circulaires creusées dans la roche par des galets mis en mouvement par les eaux.

H. 39. *Les cavités circulaires* creusées sur les faces verticales accusent un travail plus ou moins prolongé de galets mis en mouvement par les eaux, et toujours les trous forés dans le rochers submergés sont ouverts de haut en bas, verticalement ou suivant diverses inclinaisons; tandis que les érosions latérales ne s'observent que sur des massifs anciennement et actuellement touchés par des glaciers, comme celles de la vallée de Hasle, de Meyringen au glacier de l'Aar, offrant à la fois des *stries glaciaires*, des *karren* et des *trous circulaires* de la plus parfaite conservation.

On comprend que sur une paroi verticale touchée et pressée par le glacier, un courant chargé de galets puisse produire ces perforations; que des galets mis en mouvement par un filet d'eau, tombant contre cette paroi en suivant une cavité ouverte dans la glace, ne puissent être entraînés et soient continuellement maintenus ou remplacés pendant un certain temps; et que les déviations latérales de l'eau, coulant à la surface des glaciers ou dans les crevasses, laissent des traces de leur passage et de leur action sur les parois vers lesquelles elles sont projetées.

Mais dans un courant, dans un fleuve, des galets charriés suivant une même direction et parallèlement à la pente de la vallée, ne s'arrêtent pas ou ne restent pas suspendus aux flancs des rochers escarpés pour les corroder plus ou moins profondément et pour y produire des érosions latérales.

Les trous circulaires de Saint-Mihiel offrent donc les caractères des cavités résultant de l'action des eaux, de petits courants séparés, dirigés et maintenus dans des canaux débouchant contre les

parois des rochers, et non d'un cours d'eau puissant qui, agissant en toute liberté, aurait laissé des traces différentes de son passage; et il faut encore reconnaître ici le concours de l'action glaciaire, et admettre qu'au moment où ces perforations ont eu lieu, ces rochers étaient enveloppés par la glace qui transportait dans la Meuse les galets vosgiens.

Aussi, d'après les motifs que je viens de rappeler et d'exposer sommairement, je rapporterai aux formations erratiques les dépôts de matériaux provenant des Vosges que l'on rencontre dans la Meurthe, dans la Meuse et dans les Ardennes. Je considérerai comme des karren de l'époque glaciaire les cavités qu'offrent les rochers de Saint-Mihiel, de Rebeuville, et ceux qui s'élèvent, sur divers points, au-dessus du niveau des plus hautes eaux de la Meuse.

H. 40. En suivant le cours de cette vallée, on rencontre des dépôts analogues à ceux que les glaciers ont formés dans les régions où leur existence, à une époque reculée, ne saurait plus être révoquée en doute; on y constate en même temps des traces évidentes, irrécusables de l'action des eaux. L'observation consciencieuse des faits conduit à l'appréciation rigoureuse des limites dans lesquelles l'eau et la glace ont séparément ou simultanément concouru à la production des terrains superficiels, des caractères propres aux alluvions et aux terrains erratiques; mais elle conduit aussi à faire voir que ces deux causes, réduites même à leur puissance actuelle, ont pu suffire pour produire à une autre époque les effets que je viens de noter, et sans qu'il soit besoin, pour les expliquer, de les attribuer à ces inondations extraordinaires, dont les traces ne se retrouvent nulle part.

5 novembre 1851. H. Hogard.

MORAINE PROFONDE DU GLACIER DE L'AAR.

Introduction.

H. 41. La nappe de sables et de galets qui s'étend, à partir du glacier inférieur de l'Aar (Unter-Aar) jusqu'au pont de l'Aar-Boden, et qu'on retrouve dans les cirques du Grimsel, de Rœderischboden, dans le haut de la vallée, à Im-Grund, à la sortie de la gorge de Hasle, de Meyringen au lac de Brienz, entre ce dernier bassin et le

lac de Thun, et de Thun presque sans interruption jusque dans la vallée du Rhin, est évidemment, soit un dépôt erratique, soit une accumulation de matériaux transportés par des courants diluviens.

J'ai déjà eu occasion d'exposer les motifs qui m'ont déterminé à considérer cette nappe comme la moraine *profonde de l'ancien glacier* de l'Aar et de ses nombreux affluents, et je me serais dispensé de revenir encore sur ce chapitre, si, dans les objections qui se sont produites, on ne m'avait opposé des faits que j'ai inutilement cherché à constater sur les lieux.

Le glacier inférieur de l'Aar (Unter-Aar) repose et marche sur une moraine profonde; c'est un fait qu'on ne saurait nier.

Cette moraine se prolonge en avant du glacier et forme une nappe réglée longitudinalement et transversalement, sans interruption, jusqu'au pont de l'Aar-Boden; elle constitue un plan incliné sur lequel le glacier revient graduellement par des envahissements successifs.

Ainsi que je l'ai dit, cette moraine profonde ne s'est établie que dans les cirques, dans les fonds des bassins ou des vallées convenablement disposés, comme on le voit entre le cirque du Grimsel et Ræderischsboden (pl. 5, fig. 5), à la Handeck, à la sortie de la gorge de Hasle etc. etc., et elle n'a pu se fixer et persister ni dans les défilés, sur les pentes très-inclinées, ni dans tous les passages où l'on rencontre des coupures abruptes et des rochers escarpés.

Cette moraine est cependant encore, pour plusieurs de mes confrères, un dépôt diluvien, formé soit avant l'époque de l'extension des anciens glaciers, soit postérieurement et au moment où ces glaciers, en diminuant plus ou moins subitement, ont dû donner naissance à des courants violents, entraînant dans les vallées les débris erratiques préparés à l'avance pendant un très-long espace de temps.

A ces théories j'ai répondu par des considérations que je vais analyser sommairement.

Les déjections des rivières et des torrents ne constituent jamais des *nappes réglées horizontalement* et *longitudinalement* comme le sont les moraines profondes; elles forment des accumulations ayant la forme de cônes plus ou moins allongés et déprimés.

Les moraines profondes offrent dans toute leur masse des *matériaux erratiques*, ayant des caractères que l'eau n'imprime jamais aux galets roulés, mais qu'elle détruit.

Dans les déjections alluviennes, les matériaux sont *confusément entassés*, et lorsque l'on examine un cône produit par un torrent, on voit un mélange irrégulier des galets entraînés par tous les affluents jusque dans le goulot d'écoulement.

Dans les moraines profondes, les galets sont disposés en *traînées parallèles* suivant l'axe des bassins ; à la rencontre de deux vallées d'égale étendue, les dépôts sortant de l'une et de l'autre sont juxtaposés et parallèlement disposés.

Dans les déjections alluviennes, tous les matériaux sont *roulés* et tendent à prendre la forme sphéroïdale, plus ou moins parfaite, à laquelle parviennent les galets qui ont été charriés pendant un assez long trajet dans les cours d'eau.

Dans les moraines profondes on rencontre des *galets arrondis* à l'origine des vallées aussi bien qu'à de grandes distances, et ces galets sont associés à des débris de roches qui offrent à peine quelques traces de frottements, à des galets anguleux et polis, et quelquefois même à des galets striés.

Enfin dans les déjections des rivières et des torrents, les matériaux sont disposés par *ordre de grosseur*, les plus volumineux étant rangés dans l'axe ou suivant le courant principal ; dans les moraines profondes on ne remarque aucune trace d'un transport plus violent sur un point quelconque, aucun triage par ordre de pesanteur etc. ; les matériaux transportés dans les eaux sont usés et lavés, tandis que dans les moraines profondes, aussi bien que dans les moraines frontales et latérales, les galets sont empâtés dans les sables, enveloppés et enduits *de boue glaciaire* qu'on ne retrouve plus dans aucun des bancs de graviers formés ou remaniés par les eaux.

Les moraines profondes sont incessamment *attaquées par les cours d'eau*, et c'est sans doute pour cela qu'on a eu l'idée de leur attribuer une origine diluvienne ; mais toujours, lorsque les deux causes agissent simultanément et concurremment, on peut saisir les différences caractéristiques de leurs effets.

Ainsi, sur le front d'un glacier, les déjections du torrent qui s'en échappe s'étalent sur la moraine profonde et *forment un cône*, que l'on ne saurait confondre ni avec la base sur laquelle il repose ni avec les moraines frontales qu'il touche ou enveloppe quelquefois.

Cependant les galets charriés par le torrent sont façonnés par le glacier, comme ceux des moraines voisines ; mais emportés par les eaux, ils s'usent, se corrodent, s'arrondissent, prennent le caractère des cailloux roulés ; de plus, ils sont entièrement dépouillés de l'enduit boueux qu'offrent les galets sous *le fond du lit même du torrent*, ce que l'on peut constater quand la voûte par laquelle il s'échappe une année vient à changer de place, ainsi que cela a lieu souvent. Et en étudiant le dépôt dans lequel les eaux creusent leurs lits variables, jusqu'à une profondeur qui ne peut être dépassée en raison de la pente, de la force et de la vitesse des eaux, on reconnaît qu'elles agissent sur un terrain dont elles ont la force et la propriété de remanier une portion, mais qu'elles n'ont pas plus formé que les massifs granitiques sur lesquels l'Aar exerce journellement son action destructive.

A ces considérations générales il ne sera peut-être pas inutile aujourd'hui d'ajouter quelques détails, quelques observations, qu'avant de répondre, j'ai cru devoir aller recueillir et vérifier de nouveau dans les Alpes.

H. 42. Il n'était pas possible de faire de la moraine profonde de l'ancien glacier de l'Aar un dépôt récent, puisqu'il sert *de base* aux moraines frontales d'Im-Grund et de Ræderischboden, puisque du pont de l'Aar-Boden il se prolonge sous le glacier actuel en passant sous sa moraine frontale. Moraine profonde.

Aussi, pour tourner la difficulté, on en a fait un comblement diluvien inférieur aux formations erratiques, et par conséquent antérieur à l'époque d'extension des anciens glaciers.

L'auteur de cette classification des terrains superficiels en deux grandes divisions, comprenant, à la partie inférieure de l'échelle, des formations diluviennes produites par des courants plus ou moins violents, et, à la partie supérieure, les dépôts erratiques glaciaires, avait sans doute des motifs sérieux et des preuves à fournir à l'appui de sa nouvelle théorie ; mais jusqu'ici je ne crois pas qu'il se soit mis en mesure de les faire connaître.

J'ai pensé que ces preuves devaient naturellement se rencontrer dans le voisinage des glaciers, et dans les contrées où les eaux exécutent journellement des travaux considérables : aussi je me suis

mis en mesure de les rechercher, et je vais consigner dans cette note les résultats principaux de mes investigations.

On a fait un premier progrès au moment où l'on a cessé de croire à la disparition subite des anciens glaciers, et à la production de courants boueux et puissants à l'époque de leur retraite, qui, sans nul doute, s'est effectuée progressivement et avec une grande lenteur. Les moraines frontales, restées debout à l'issue des grandes vallées et à des distances considérables des glaciers actuels, en fournissent une preuve évidente; on n'a donc plus à discuter la valeur de cette première hypothèse.

Mais, avant le moment où la plus grande partie de la terre a été enveloppée d'un manteau de glace, s'il est vrai que des courants diluviens ont parcouru les vallées, comme on l'assure, il serait fort intéressant de rechercher et de faire connaître les causes mystérieuses de ces inondations extraordinaires.

Si l'on admet que le comblement de la partie inférieure de la vallée de l'Aar soit un de ces dépôts diluviens, on devra admettre en même temps que toutes ces accumulations de galets, jusqu'aux limites les plus élevées du bassin, appartiennent à la même formation. Il le faudra, puisque la nappe est identiquement disposée ou composée sur tous les points où on peut l'observer. Le glacier reposerait donc sur un terrain diluvien.

Les courants d'eau effacent les stries glaciaires.

Cependant les faits ne semblent pas confirmer cette hypothèse, et en effet on sait que les rochers à surfaces polies et striées exposées à l'action des courants, et surtout des courants chargés de sables et de galets, perdent promptement leurs stries, et qu'ils se recouvrent de sillons irréguliers, de cavités circulaires etc.; or on voit près du pont de l'Aar-Boden, sur la rive gauche, un rocher dont la surface offre l'empreinte irrécusable du poli et des stries glaciaires. Cette surface est inclinée vers l'amont, *plonge sous la nappe des sables et des galets* au point même où cette nappe va cesser, un peu à l'amont de la gorge qui sépare le cirque du Grimsel de celui de l'Aar-Boden (pl. 5, fig. 1)[1].

[1] D. A. Je repète, on ne saurait assez le dire, que les courants d'eau chargés de sables et de galets ne strient pas les roches, ils effacent les surfaces striées ou rayées par les glaciers. La surface de granit polie et striée, mentionnée par l'ami **Hogard**, et qui se trouve sur la rive gauche de l'Aar, en amont du pont de l'Aar-Boden, est observée par nous toutes les années. Les surfaces striées ne se voient qu'à la hauteur qui est préservée des atteintes du torrent.

La vallée est fort rétrécie en cet endroit; le canal par lequel les eaux s'écoulent n'a pas plus de 10 à 12 mètres de largeur ; ses bords sont taillés verticalement dans des rochers offrant une sorte de clivage suivant des plans verticaux et parallèles à la direction du cours d'eau ; et l'on voit, à en juger par les débris récemment détachés, que la section du lit de l'Aar s'est successivement élargie ; mais pour éviter de compliquer les difficultés, on peut admettre qu'à *l'époque diluvienne* cette section était à peu près ce qu'elle est aujourd'hui.

C'est par cette coupure que le courant a dû successivement passer, en entraînant tous les matériaux entassés dans les cirques inférieurs; sa vitesse devait être très-grande dans cet étranglement subit, et si l'on tient compte de l'immense quantité et du volume des débris charriés, on doit estimer que sa force devait être considérable.

Les rochers situés à la tête de ce premier canal, exposés à l'action directe d'un torrent animé d'une grande vitesse et chargé de matériaux, devraient présenter des traces visibles d'érosions, d'autant plus profondes que la cause du transport a eu certainement une longue durée.

Et cependant, non-seulement ces traces de l'action des eaux n'existent pas, mais on retrouve, en fouillant la nappe de galets sous laquelle plonge la surface du rocher, *le poli et les stries glaciaires*[1].

De plus on voit au niveau actuel des eaux de l'Aar des rochers anguleux ou à peine corrodés et des masses moutonnées et polies par le glacier à droite et à gauche du canal, et dont la présence ne permet pas d'admettre à une époque quelconque un courant sensiblement plus fort et plus violent que le torrent actuel.

L'existence d'une surface striée sous la nappe de galets prouve évidemment que la formation du comblement n'a pas précédé l'époque glaciaire; et la conservation des stries n'indique pas moins clairement que, postérieurement, il n'y a pas eu de débâcles diluviennes, et qu'enfin le polissage des rochers, le transport et le dépôt des galets ont eu lieu instantanément et sous l'influence d'une

[1] D. A. En fouillant la nappe des matériaux dans des emplacements où ils n'ont pas été déposés ni remaniés par les eaux.

cause unique, sur la nature de laquelle les stries ne permettent pas le moindre doute[1].

La surface de la nappe du cirque supérieur de la vallée serait donc d'origine erratique, une *moraine profonde;* mais on pourrait m'objecter encore que, sous cette première couche superficielle, on doit rencontrer le comblement diluvien formé en premier lieu.

En prenant note de cette première concession, on devra conclure que les glaciers se sont avancés jusqu'aux moraines frontales les plus éloignées des montagnes, jusqu'aux rochers striés de Soleure, au moins pour le bassin de l'Aar[2]; et qu'au delà de cette limite arbitrairement fixée on ne doit plus trouver que des dépôts diluviens.

Mais, je l'ai déjà dit, les moraines profondes admises ne diffèrent en aucune façon des moraines profondes contestées; le comblement, dans toutes les parties du bassin et jusque dans la vallée du *Rhin*, au-dessous de Bâle, offre les mêmes caractères, et surtout une distribution régulière des matériaux dont il se compose, et il devient impossible de déterminer une limite séparative entre le terrain erratique et le terrain réputé diluvien, et c'est précisément pour ce motif que j'ai réuni et compris sous la même dénomination toutes les parties absolument semblables des comblements.

Si l'on examine ensuite les coupes pratiquées dans les dépôts inférieurs des vallées, et que l'on cherche à reconnaître deux étages d'origine différeute, superposés et offrant des caractères tranchés, on ne parvient pas à un résultat plus satisfaisant; nulle part on n'aperçoit de séparatiou, et on est forcé de reconnaître que le comblement, constitué par des accumulations successives, forme une *seule et même masse*, dans toutes les parties de laquelle on retrouve indistinctement les mêmes dispositions, les traces évidentes d'une seule et même cause.

Conclusions. H. 43. Les conclusions naturelles de ces observations sont celles-ci :

La surface du comblement à l'amont et à l'aval des moraines frontales anciennes les plus avancées étant identique, et offrant les mêmes caractères, appartient à un même ordre de dépôts;

[1] D. A. Citation très-importante, que chacun peut vérifier.

[2] D. A. Avancé à une certaine époque, qui n'était nullement le maximum de leur extension.

Cette surface à l'amont étant une moraine profonde, doit conserver à l'aval la même dénomination.

Et de plus, la surface se liant, sans intermédiaire et sans modifications, dans la distribution des matériaux, dans leurs formes caractéristiques, à la masse entière du comblement, cette masse fait partie de la moraine profonde.

Mais cependant on pourra encore m'opposer une autre objection que je dois prévoir, et à laquelle je ne puis faire une réponse catégorique. Les nappes superficielles n'ont peut-être pas été fouillées à d'assez grandes profondeurs, et il serait possible qu'un terrain diluvien ancien fût caché sous une couche erratique plus ou moins puissante [1].

J'avoue que je n'en sais absolument rien: mais, ou ce prétendu terrain diluvien ressemble à celui de la plaine d'Alsace, et, dans ce cas, il offre tous les caractères des dépôts erratiques; ou bien il en diffère entièrement; sa puissance et ses caractères sont également inconnus; et je pense qu'il sera grandement temps de s'en occuper quand on sera parvenu à le trouver, à le faire voir, et à fournir une première, une seule preuve.

Moraine profonde de l'Aarboden.

H. 44. La moraine profonde du premier cirque, entre le glacier Unter-Aar et le pont de l'Aar-Boden, malgré les bouleversements que les eaux ont causés et produisent à sa surface, conserve encore parfaitement le nivellement régulier que les glaciers seuls peuvent imprimer aux dépôts meubles qui les supportent. J'y ai fait faire diverses fouilles, et partout j'ai trouvé des galets anguleux associés à des cailloux roulés, et toujours, mêlé aux matériaux du comblement, le *lehm* ou la *boue glaciaire*, que les eaux font disparaître et enlèvent dans toutes les parties de la nappe qu'elles ont fouillées ou remaniées.

Cette nappe n'éprouve ni renflements ni dépressions, près des rochers qui se relèvent à sa surface, sur la gauche du bassin. Et ces rochers qui portent des traces évidentes de l'*action glaciaire*

[1] D. A. Ces fouilles ont été faites sur la rive gauche du torrent dans le sol, à une certaine distance du torrent que les eaux n'atteignent que rarement, et sous le gazon on a trouvé partout du sable et du limon fin (boue de glacier) d'une épaisseur variant de 0m,30 à 0m,50, et portant au-dessous des matériaux anguleux mêlés de galets glaciaires écornés et plus ou moins arrondis, et des galets et fragments de roche rayés.

n'offrent pas les moindres indices de l'action des eaux, quoique cependant le comblement les enveloppe et s'applique contre leurs parois inférieures.

Chalets de l'hospice. Aux chalets de l'hospice[1], le rocher qui se relève au-dessus du niveau de la nappe, est poli et strié à l'amont; latéralement il offre un plan presque vertical à surface rugueuse et écailleuse que le glacier n'a pas touchée, l'angle d'amont du massif lui ayant fait éprouver une déviation (pl. 5, fig. 2).

Les galets du comblement enveloppent ce rocher et forment un plan paraissant de niveau sur tout son pourtour; et, malgré ce contact, la surface rugueuse plonge sous la nappe sans altération; les angles aigus des écailles sont aussi vifs au-dessous qu'au-dessus du comblement; très-certainement, s'il y avait eu transport par les eaux de toute la masse des galets, ou seulement de la couche superficielle, on apercevrait des traces d'usure, des sillons horizontaux ou peu inclinés marquant les élévalions graduelles dans le niveau des eaux de leurs déjections. Au pied même du rocher on voit un ancien lit d'une des plus petites branches de l'Aar qui, en se creusant un passage, n'a pas déplacé les galets appliqués contre la paroi verticale et n'a pas corrodé cette dernière.

Au second massif de rochers, la surface latérale, comme celle d'amont, est polie et striée, et les stries persistent sous la nappe sans altérations. L'action des eaux, ici, est donc secondaire, elle se révèle par le désordre qu'elle cause dans la distribution du terrain erratique, mais évidemment elle n'a pas produit le comblement sous lequel les traces du travail de l'ancien glacier sont encore visibles et incontestables.

Terrain erratique de la vallée de Hasle. II. 45. En parcourant la vallée de l'Ober-Hasle, on peut, à chaque pas, étudier les effets produits par les courants et par la glace, et apprécier à leur juste valeur les théories qui ont inutilement été imaginées pour rendre compte des faits s'expliquant et se révélant

[1] D. A. Ces chalets, qui se trouvent en 1862 à quelques cents pas en aval de la pente terminale du glacier de l'Unter-Aar, sont cités par **Altmann** (J. G.) en 1753. Un plan exact de la pente terminale du glacier explique la présence de ces chalets, qui se trouvaient alors à 3 kilomètres en aval du glacier et abritaient les vaches pâturant dans la vallée de l'Aarboden, lequel, aujourd'hui, est envahi par le glacier et inondé par le torrent. Ces chalets datent peut-être de deux siècles et plus.

pour ainsi dire d'eux-mêmes. Aussi, après une course de quelques heures, on ne comprend pas que des esprits sérieux puissent encore attribuer aux comblements une origine diluvienne.

Les torrents, faibles ou violents, forment des cônes de déjection qui s'étalent et reposent toujours sur les nappes profondes; leurs goulots d'écoulement débouchant à diverses hauteurs au-dessus du fond des vallées, leurs déjections s'établissent nécessairement à différents niveaux. Les pentes des cônes varient aussi en raison de la vitesse des courants, de la nature et du volume des matériaux. Que le bassin de Brienz, par exemple, finisse par être entièrement comblé par des déjections torrentielles : quel aspect présenterait alors la vallée? Quelle analogie pourrait-on trouver entre un amas de cônes entremêlés, constituant un comblement irrégulier mamelonné, comprenant autant de dépôts distincts que de déjections, et la nappe aussi régulière dans les cirques élevés qu'à Im-Grund, Meyringen etc.?

A Meyringen surtout, à la sortie de la gorge du Kirchet, le plan incliné commence immédiatement et s'étale latéralement, en contournant sur la rive gauche le massif de rochers formant une pointe dans la vallée près du pont, pour se développer en remontant vers l'amont entre ce promontoire et le pied des escarpements qui dominent la vallée vers la gauche. Les cônes que les torrents jettent sur cette nappe nous offrent un exemple de ce qu'aurait produit un courant diluvien en sortant du bassin d'Im-Grund, qu'il aurait d'abord comblé, pour former ensuite un immense cône à l'amont de Meyringen jusqu'au lac de Brienz (pl. 5, fig. 6).

Mais on me répondra peut-être qu'avant l'époque glaciaire le comblement était composé de cônes, et qu'il a ensuite été réglé par les anciens glaciers. Et, dans ce cas, je répéterais ce que j'ai dit ailleurs, qu'il faudrait admettre en même temps que toutes les nappes nivelées ont été soumises à la mêmu cause, et que par conséquent les glaciers se seraient étendus jusqu'aux extrémités des nappes les plus éloignées des Alpes.

Et puis je demanderais en outre comment le glacier de l'Aar aurait enlevé une partie du comblement du bassin d'*Im-Grund* pour l'établir suivant la pente générale de la vallée; et surtout comment s'est effectué, au travers des lacs de Brienz et de Thun, le transport

des matériaux de la partie supérieure de la vallée jusque dans la grande plaine du Rhin.

A l'égard des courants diluviens, des torrents violents auxquels on attribue le charriage des galets et des blocs, il est encore permis de conserver quelques doutes fondés sur l'observation même des vallées d'où les eaux seraient sorties.

M. Desor a remarqué, il y a longtemps, que la plupart des rochers de la chute de l'Aar à la Handeck sont anguleux, d'où il est naturel de conclure qu'à aucune époque le volume des eaux et la masse des galets transportés n'ont été plus considérables qu'aujourd'hui; et évidemment dans un passage aussi resserré, un courant diluvien, assez puissant pour accumuler seulement les matériaux des nappes situées à l'amont du premier lac, aurait laissé sur ces rochers des traces profondes de son passage et de son action.

L'exemple de ce que l'on observe à la Handeck se reproduit successivement sur divers points dans la vallée. Déjà au pont de l'Aar-Boden on voit des rochers à angles à peine émoussés; dans les crevasses, au fond desquelles les eaux semblent se perdre, on voit presque toujours, au-dessus d'un niveau qu'elles ne dépassent pas, des surfaces non corrodées et des angles aigus sur les parois des rochers. Et les rochers calcaires, à l'amont d'Im-Grund, offrent les mêmes dispositions (pl. 5, fig. 3).

Au-dessous de la ligne $x\,y$, qu'atteignent les plus hautes eaux de l'époque actuelle, on observe des sillons, des cavités creusées par les eaux; mais au-dessus la surface rugueuse des rochers n'a subi aucune altération. En tête même du bassin, sous la moraine frontale, les rochers sont anguleux dans le goulot, et sur la rive droite le dépôt latéral lié intimement à cette moraine est rempli de *galets roulés* et *arrondis*, entièrement semblables à ceux du comblement (pl. 5 fig. 4).

Dans toutes les vallées des Alpes on peut faire et vérifier les mêmes observations, et acquérir ainsi la conviction et la preuve qu'à aucune époque ces *hautes vallées* n'ont été parcourues par des courants sensiblement plus puissants que les cours d'eau actuels.

Au-dessus du niveau actuel des eaux on voit cependant des traces de leur action exclusive; mais ces traces qui se retrouvent aussi dans le voisinage des glaciers, sur les rochers polis les plus élevés des

montagnes bordant le bassin, prouvent encore l'intervention de la glace.

Le glacier occupant la haute vallée à l'amont de la Handeck, par exemple, ne pouvait se modeler sur tous les plis du terrain et combler toutes les crevasses. L'eau qui s'en échappait n'avait d'autre issue que par les coupures marquant le thalweg même et l'emplacement de la voûte du glacier; leurs parois ne pouvaient donc être ni touchées ni frottées par la glace; et comme les eaux, provenant des parties latérales, tendaient à revenir par la ligne de plus grande pente vers les couloirs où leur écoulement était possible et forcé, il se produisait latéralement aussi des chutes et des érosions dont les emplacements sont marqués par de nombreux *karren*.

Chaque fois que j'ai eu occasion de parler du terrain erratique de la Suisse, j'ai toujours cherché à attribuer les faits observés aux causes d'où ils paraissaient dériver naturellement, et à déterminer les limites dans lesquelles l'eau et la glace avaient dû agir et concourir soit séparément, soit simultanément à la formation des dépôts superficiels. Et c'est précisément parce que j'ai constamment suivi la même marche que je me suis trouvé conduit à ne pouvoir croire à l'existence des courants diluviens.

Tous les faits, toutes les preuves sont contraires aux diverses théories qui se sont produites jusqu'ici, depuis les projections volcaniques de **Deluc** jusqu'aux radeaux de glace de **Venturi**, tandis qu'on arrive à des solutions qui ne viennent pas se heurter contre de grandes improbabilités physiques, chaque fois que l'on se contente d'étudier les causes et les lois naturelles.

Ainsi, pour donner une idée des écarts auxquels on est exposé quand on se laisse dominer par des idées préconçues, en terminant ces observations sommaires, je répondrai à une allégation produite contre mes premières notes sur la moraine profonde de l'ancien glacier de l'Aar, en me bornant à rétablir les faits.

Plaine d'Interlaken.

Dans un essai sur le terrain erratique de la Suisse et des Vosges[1] j'ai donné un croquis de la partie de la moraine profonde placée entre les deux lacs de Brienz et de Thun et qui constitue la plaine d'Interlaken.

[1] *Coup d'œil sur le terrain erratique des Vosges*, 1848.

Cette plaine parfaitement nivelée est peu élevée au-dessus de la surface des eaux des deux lacs, et elle dessine, aux pieds des montagnes, une ligne qui semble être de niveau.

Vallée de Lauterbrunnen.

La Lutschine, en sortant des gorges de Lauterbrunnen, loin de couper cette plaine, soit dans la direction de l'Aar, soit vers le bassin inférieur, en contournant le promontoire que forme le Klein-Rugen, se jette à l'amont d'Interlaken, dans le lac de Brienz, et coule au pied du massif du Kilcheck.

La nappe, en face de la vallée de Lauterbrunnen, n'offre pas de renflement, et suit une ligne de pente non interrompue dans tous les enfoncements latéraux du bassin; elle n'a pas l'aspect d'un cône de déjection, et je l'avais comprise dans la masse du comblement de l'amont et de la partie inférieure de la vallée provenant de l'Ober-Hasle. L'examen des deltas de l'Aar, de la Lutschine et de la Kander m'avait fourni, une fois de plus, l'occasion de comprendre les différences essentielles qui distinguent ces déjections alluviales, toujours de formes coniques, des nappes de comblement offrant des matériaux erratiques distribués par bandes parallèles; et dans la vallée de Lauterbrunnen je n'avais pas rencontré de traces de grandes débâcles, à la suite desquelles un amas considérable d'alluvions serait venu séparer les deux lacs autrefois réunis.

Cependant il paraît que l'on considère encore l'isthme sur lequel Interlaken est bâti comme un dépôt de diluvium glaciaire transporté par la Lutschine, quoique ce dépôt soit absolument le même que celui de la partie de la vallée inférieure comprise entre Thun et Berne, que les torrents de Lauterbrunnen n'ont pu atteindre et combler, puisque le lac de Thun leur présentait un obstacle infranchissable.

Conclusions.

H. 46. J'ignore sur quelles observations cette opinion est fondée, et quelles preuves réelles de l'origine diluvienne de ce comblement on a recueillies; aussi ne puis-je aborder une discussion à cet égard: mais pour qu'il soit possible d'arriver à une solution, je vais rapporter, en terminant, des faits qui me paraissent concluants et sans réplique.

La nappe, comprise entre les deux lacs de Brienz et de Thun, est composée de sables et de galets offrant des traces évidentes de l'action glaciaire; et la partie supérieure est composée principalement

de sables et de lehm, et le lehm est mêlé dans l'intérieur du dépôt avec divers matériaux qui le composent.

Sur divers points, et notamment à l'amont, sur les rives du Lac supérieur, des atterrissements continuent à se répandre à la surface des parties submersibles et marécageuses de la nappe, tandis qu'elle est parfaitement plane jusqu'à Unterseen et jusque sur la rive gauche du lac de Thun, et qu'elle offre, à droite entre Unterseen et Neuhaus, en face de la vallée de Habkeren, un renflement transversal; c'est que de cette vallée est sorti un torrent qui a étalé sur la nappe un cône assez déprimé par lequel le cours de l'Aar vers la rive gauche de la vallée a été repoussé, tandis qu'à Unterseen il touche les escarpements de droite; mais ce cône offre tous les caractères d'une déjection torrentielle, d'une formation locale plus récente, et différant sous tous les rapports de la nappe de comblement d'Interlaken, qui se rattache au comblement général de la vallée; et ces divers dépôts, inférieurs et supérieurs, anciens, récents ou actuels, offrent chacun des dispositions qui accusent dans leur production l'intervention de causes différentes.

Dans la nappe, la masse principale des galets provient de l'amont du lac ou de la haute vallée; sur la gauche, des matériaux provenant des vallées de Grindelwald et de Lauterbrunnen viennent s'y associer; ce qui prouve que l'ancien glacier de Lauterbrunnen venait se réunir au glacier de l'Aar, et au niveau même de la nappe, tandis que les glaciers des vallées latérales d'Urbach, de Rosenlaui, en raison de la disposition du terrain, ne pouvaient pénétrer jusqu'au fond du bassin et marchaient latéralement à une hauteur indiquée par les escarpements du Reichenbach, de la gauche d'Im-Hoff etc. etc.

Enfin, dans la nappe d'Interlaken même (aussi bien qu'à l'aval de Thun) on rencontre, associés aux galets calcaires des montagnes bordant le bassin depuis Guttanen, des *galets granitiques* provenant des massifs de la haute vallée.

Si donc on persistait à dire que le dépôt dont il s'agit est une déjection diluvienne formée par la Lutschine, je demanderais comment et par quelle voie, la Lutschine, dont le bassin est parfaitement séparé, a pu rejeter à Interlaken, et de Thun jusque dans la vallée du Rhin des galets détachés, des roches granitiques des

cirques de l'Ober-Aar, de l'Unter-Aar et du Grimsel, et leur faire franchir les deux lacs.

Le terrain erratique se produit encore journellement sous nos yeux ; des dépôts alluviens se forment sans cesse, et leur étude nous révèle l'origine des formations superficielles d'une époque antérieure; les glaciers en activité nous font voir comment s'est opéré le transport des blocs erratiques ; comment se sont élevées les anciennes moraines frontales ; les torrents et les rivières exécutent des remblais ayant toujours un cachet particulier ; mais nulle part on n'a rencontré jusqu'ici et on ne rencontrera pas une seule de ces nappes nivelées, exclusivement formées par un courant et offrant les caractères des dépôts inférieurs que j'ai considérés comme *les moraines profondes des anciens glaciers*.

Le 8 octobre 1851. H. HOGARD.

DÉPOTS ERRATIQUES DE L'ALLÉE-BLANCHE.

Col de la Seigne.

H. 47. Le comblement de la vallée de la Doire se retrouve dans l'Allée-Blanche jusque dans le bassin situé sous le col de la Seigne. A l'entrée du val Ferret il est recouvert par une ancienne moraine frontale à plusieurs étages, et s'il offre quelques lacunes, c'est dans les passages où les pentes sont trop abruptes, comme cela a lieu probablement sous une partie du glacier de la Brenva, et à l'amont du lac Combal, sous les chalets. Les moraines frontales des deux glaciers qui descendent dans la vallée s'étalent sur ce comblement.

Moraine du glacier de la Brenva.

H. 48. La moraine latérale droite du glacier de la Brenva repose sur une nappe de sables et de galets, réglée transversalement et longitudinalement, mais formant un plan incliné, sur laquelle ce glacier déborde de nouveau par suite d'un récent envahissement. Cette moraine ne barre pas entièrement la vallée, et la Doire peut s'écouler sous le glacier. A une époque éloignée il est probable que cet écoulement a été incomplet et qu'une partie de la nappe a été inondée ; des dépôts de sables mêlés de lehm sembleraient l'indiquer.

Lac Combal.

H. 49. Le lac Combal est comblé en partie, et les atterrissements continuant journellement à se produire, il est probable que le bassin finira par se remplir entièrement. A l'amont, un cône de déjec-

tion, très-peu incliné, s'étale et s'enfonce sous le lac. Il est formé des matériaux entraînés du bassin supérieur par un ruisseau torrentueux, et des débris rejetés par deux petits glaciers, et principalement par celui de la Chenalette, qui vient toucher ce cône et ajoute ses moraines frontales et latérales aux déjections du torrent.

L'ancienne moraine des chalets domine un escarpement, *et ne touche pas le comblement du lac;* elle recouvre une nappe inclinée de galets, à la surface de laquelle on observe des dépôts vaseux de lehm et de sables, dus à des alluvions; mais cette nappe n'est pas postérieure et supérieure à cette ancienne moraine.

Les moraines frontales de glaciers suspendus viennent latéralement s'étaler, sous forme de cônes d'éboulement, sur le comblement inférieur, *toujours inférieur* aux moraines latérales et frontales, aussi bien qu'aux *alluvions* et aux déjections torrentielles.

Enfin, dans l'Allée-Blanche, on voit ce qui s'observe toujours et partout:

Conclusions.

II. 50. 1° Un comblement ancien, que j'ai appelé *moraine profonde*, parce qu'il renferme des matériaux erratiques mêlés *à la boue glaciaire:* dépôt dont j'ai déjà tant de fois indiqué les caractères et cherché à démontrer l'origine que le *lehm* et les *galets erratiques* révèlent incontestablement;

2° Des moraines anciennes; des moraines modernes et des moraines actuelles ayant diverses formes;

3° Un cône de déjection formé de débris arrachés par les eaux aux anciens dépôts erratiques ou rejetés par le glacier de Chenalette à l'amont du lac Combal, qui se remplira à mesure que le cône s'allongera, et que les dépôts vaseux de sables et de lehm se développeront dans le fond du bassin et contre la moraine latérale droite du glacier du Miage;

4° Enfin quelques atterrissements ou alluvions sur une partie des nappes profondes. C'est-à-dire les divers dépôts formés avec le concours de l'eau et de la glace, toujours distincts et nettement séparés, et sur la nature et l'origine desquels on peut d'autant moins se tromper que les deux causes agissent simultanément, en imprimant aux effets qu'elles produisent des caractères invariables et parfaitement tranchés.

En indiquant dans ma coupe les superpositions réelles des dépôts, et en m'abstenant d'y rien changer dans l'intérêt de la cause que je m'efforce de défendre, je n'aurai pas à craindre une objection de la nature de celles que je formule dans cette note, ni que l'on parvienne à prouver que les moraines anciennes du val Ferret, et les moraines actuelles des glaciers de la Brenva et du Miage sont recouvertes partiellement par le comblement (alluvien ou diluvien) de la vallée, puisque partout, *dans les hautes vallées, aussi bien qu'au pied des Alpes* dans la plaine de Turin, ces barrages sont superposés à ce comblement erratique, que jamais on ne parviendra à assimiler au dépôt alluvien du lac Combal.

Et cependant ce dernier dépôt est constitué par des matériaux erratiques ; les galets anguleux rejetés par les glaciers sont associés au lehm et aux galets arrondis et polis ; mais la forme de la déjection, l'arrangement de ses matériaux révèlent l'intervention de l'eau ; puis, attendu qu'il va s'appuyer contre une moraine actuelle et en recouvrir le pied, il diffère essentiellement de *ces nappes profondes qui supportent toutes les moraines aussi bien que tous les dépôts alluviens, anciens et actuels.*

Le 9 juillet 1851. H. HOGARD.

DÉPOTS ERRATIQUES DU BASSIN DU PO.

H. 51. Les anciens glaciers des Alpes n'ont pas été confinés dans les hautes régions, comme on le croyait autrefois, mais ils se sont répandus hors de l'enceinte des montagnes, jusqu'aux limites extrêmes des nappes erratiques qui occupent le fond d'un grand nombre de vallées [1].

Dans le bassin du Pô, la nappe erratique constitue une immense plaine arrosée par ce fleuve et par ses nombreux affluents qui, tous, ont ouvert et creusé leurs lits dans le comblement jusqu'à l'Adriatique. Tous les faits que j'ai observés dans la distribution et dans l'arrangement des matériaux de la plaine du Rhin s'y représentent identiquement, sur une plus grande échelle, et suffiraient pour indiquer le concours de la glace dans le transport et le nivellement des éléments de ce vaste dépôt, si l'action glaciaire, sur diverses

[1] D. A. Et des plaines jusqu'à la mer, à l'époque de leur plus grande extension.

parties de la nappe, n'était marquée de la manière la plus évidente par les moraines frontales et les blocs erratiques, observés par **MM. Martins** et **Gastaldi** à la sortie des vallées des deux Doires, et jusque sur la colline de Turin[1].

Cependant mes deux confrères, tout en admettant, comme je l'avais précédemment indiqué dans les vallées de la Suisse, et bien loin des glaciers actuels, une moraine profonde à la surface de la nappe de comblement et jusqu'aux moraines frontales d'Ivrée et de Rivoli, considèrent encore la partie inférieure du dépôt et son prolongement dans la vallée du Pô, comme un terrain diluvien inférieur aux formations erratiques, et par conséquent d'une époque antérieure. Aussi est-ce à l'égard de cette dernière question surtout que je viens soumettre quelques observations à leur examen et à leur appréciation, et exposer les faits et les considérations qui m'ont déterminé à regarder la masse entière du comblement comme une formation *d'origine glaciaire.*

Les derniers contreforts des Alpes se terminent brusquement à la limite de la plaine, dont la surface paraît être parfaitement de niveau, et qui forme un plan régulier légèrement incliné vers la colline de Turin. En examinant plusieurs croquis recueillis sur les lieux, il y a bien longtemps, par un dessinateur qui n'était pas plus géologue que glacialiste, j'avais remarqué avec un vif intérêt la régularité de cette plaine, et surtout les mamelons situés au débouché de la vallée de la Dora Ripaira, entre Rivoli et le massif du Musinet, et qui paraissent barrer transversalement le cours de cette rivière, et offrir les dispositions propres aux moraines frontales. Mais ce qui m'avait frappé surtout, c'est qu'on n'apercevait aucune trace d'ondulations transversales ou longitudinales de la surface de la plaine, évidemment dessinée telle qu'on la voit réellement depuis le sommet de la colline de Turin.

Mes deux confrères cependant pensent que cette surface est due à la réunion de cônes de déjection sortant des vallées, et que, de ce point même, l'œil distingue au débouché de celles de la Stura, de l'Orco et de la Dora Ripaira; ces cônes révèleraient donc le mode de formation et l'origine de la grande plaine qui s'étend au pied du

[1] *Essai sur les terrains superficiels de la vallée du Pô.* — *Bulletin de la Société géologique de France*, t. VII, p. 554.

versant méridional des Alpes, et dont la surface, régulière en apparence, ne se raccorderait pourtant pas à un seul et même plan incliné, comme on le croirait à la première vue.

Ce que j'avais observé dans les comblements des grandes vallées du Rhin, du Rhône, de l'Aar, ne pouvait manquer de me laisser des doutes à cet égard, et de me faire comprendre la nécessité de visiter le bassin du Pô, pour étudier cet immense comblement, et de rechercher s'il offre les caractères d'une formation alluviale, et une distribution et des relations différentes de celles qu'affectent, sans exception, les nappes dont je m'étais plus particulièrement occupé jusqu'ici; et je me suis mis immédiatement en mesure d'aller sur les lieux, vérifier les faits et recueillir les observations dont j'avais besoin pour adopter ou discuter l'opinion émise par mes confrères.

Comblement du bassin du Pô.

H. 52. Du sommet de la colline de Turin, et de tous les points depuis lesquels j'ai pu examiner le bassin du Pô, le comblement général m'a paru former un grand plan incliné d'une parfaite régularité, se dessinant au pied des Alpes, comme se dessinerait la surface unie d'un lac.

De plusieurs vallées sortent des torrents qui ont étalé autrefois ou qui continuent à jeter leurs cônes de déjection sur la surface de ce plan, et à exécuter, en saillie, des remblais différant, sous tous les rapports, du comblement qui les supporte. Les limites de ces cônes, dessinées sur la carte de l'état-major piémontais, sont toujours parfaitement visibles.

Deux ou plusieurs cônes peuvent se réunir et se toucher latéralement et constituer des accumulations ondulées assez considérables; et, dans ce cas, on pourrait supposer que la plaine est réellement la réunion des déjections produites par les nombreux cours d'eau qui viennent se jeter dans le fleuve. Mais en suivant le versant des Alpes, on rencontre à chaque instant, entre deux cours d'eau et au pied même des montagnes, de vastes champs de galets parfaitement nivelés, dont la surface se raccorde exactement à celle de la plaine, en passant sous les alluvions des torrents toujours distribuées sur le plan incliné du bassin, comme les moraines frontales, les blocs et le terrain éparpillé (pl. 7, fig. 1).

Cette superposition que l'on observe d'ailleurs dans toute l'étendue du système des Alpes est parfaitement évidente, et suffirait pour

motiver, entre ces diverses parties du comblement, une distinction et une séparation, que l'on peut toujours comprendre, et dont la coupe (fig. 2, même planche), fournit une preuve incontestable.

Les arêtes supérieures des deux cônes *A* et *B* forment sur la surface de la nappe des angles plus ou moins inclinés, suivant la puissance des déjections, relevées à partir de leurs bases dans la direction des goulots d'écoulements ; mais elles ne viennent ni se toucher ni se confondre : dans l'intervalle qui les sépare, le comblement conserve son apparente horizontalité, tandis qu'il offrirait, comme dans la fig. 3, une dépression marquée par la rencontre des surfaces courbes, s'il faisait partie des déjections torrentielles.

Terrain de comblement de Rivoli à Turin.

H. 53. De Rivoli à Turin, et sur à peu près moitié de la distance, le terrain est ondulé, et offre en dessus du plan incliné quelques renflements qui de loin ressemblent à un grand cône sortant de la vallée de la Dora Ripaira : mais ce sont les premières rides concentriques formées par le glacier en avant de la grande moraine frontale placée au débouché de la vallée et à laquelle elles se lient intimement.

Au delà de Rivoli jusqu'à la moraine qui, de Rosta, se dirige vers Alpignano, et plus loin encore, au delà d'Avigliana, la moraine profonde se raccorde au plan incliné qui descend vers le Pô, comme je l'ai indiqué sur la coupe longitudinale et sur le croquis (fig. 4 et fig. 5).

S'il y avait eu un cône de déjection au sortir de la vallée, et surtout une déjection diluvienne plus ancienne que les moraines, on devrait en retrouver encore des traces certaines. Le glacier en s'avançant sur ce cône aurait formé une moraine profonde, soit à surface courbe et parallèle à celle de sa base, soit à surface plane, et ayant à chacune de ses extrémités une plus grande épaisseur que dans le milieu suivant l'arête du cône.

Cette moraine *c*, quelle que soit sa puissance et son inclinaison, formerait une saillie et une nouvelle nappe dont le prolongement *b* (fig. 6) passerait au-dessus du plan incliné *a a*, si elle avait une pente moins forte ou viendrait le couper sous un angle plus ou moins prononcé dans le cas indiqué (fig. 7), et il y aurait nécessairement une séparation marquée entre les deux dépôts.

Cependant, en examinant la coupe du terrain compris entre Avigliana et le pied de la colline de Turin (fig. 4), on voit clairement qu'entre les deux points extrêmes la moraine profonde et le surplus du comblement suivent la même ligne de pente et se raccordent exactement à un même plan et non à la surface courbe d'un cône de déjection.

La moraine profonde ayant une certaine épaisseur, il faudrait admettre qu'elle remplit une dépression ouverte par une cause quelconque au sommet du cône et que sa surface s'est réglée exactement suivant la pente de la déjection diluvienne, comme on le voit d'Avigliana à Turin etc., et de l'amont d'Ivrée à Cressentino, puisque la continuité du plan de la nappe de comblement, à l'amont et à l'aval des moraines frontales de deux Doires, est *un fait évident* (fig. 4 et fig. 15).

Cette continuité de la ligne de pente s'observe encore à l'amont d'Ivrée, quoique la vallée de la Dora Baltea soit en quelque sorte fermée entre Pavone et Chiaverano par une série de petites collines, sur lesquelles on retrouve des *stries glaciaires :* disposition dont j'ai déjà eu occasion de citer plusieurs exemples[1], et qu'un torrent n'aurait pas produite.

La Doire extraordinairement gonflée aurait exécuté des affouillements aux pieds de ces collines, et à la sortie du défilé d'Ivrée aurait amoncelé ses déjections dans la direction de Tina et d'Albiano; et si l'on voulait voir dans le nivellement de la surface du terrain de transport, recouvert par une moraine profonde, un travail exécuté postérieurement par un glacier, on serait encore arrêté, comme à Rivoli, par la difficulté, pour ne pas dire par l'impossibilité, d'expliquer le raccordement de la moraine et du diluvium plus ancien, au même plan incliné vers le cours du Pô.

Cependant les anciens glaciers ont touché la colline de Turin, et y ont laissé des *galets*, des *blocs*, des *dépôts de lehm*, témoins irrécusables de leur passage, de leur séjour et de leur action en dehors des moraines frontales d'Ivrée et de Rivoli; et en s'avançant sur un comblement diluvien, ils auraient pu en dresser la surface et opérer ces raccordements que je ne m'expliquais pas tout d'abord.

[1] *Esquisse du terrain erratique du Rhin postérieur*, 1850.

Mais en même temps l'action glaciaire aurait effacé les traces de ces anciens cônes dont on a supposé que se compose le comblement de la plaine ; et dans cette hypothèse il faudrait bien admettre que les déjections, qui s'étalent aujourd'hui au sortir de quelques vallées, se sont formées postérieurement et n'ont commencé à se produire qu'après la retraite des anciens glaciers ; qu'elles sont d'une époque beaucoup plus récente que le terrain qu'elles recouvrent ; enfin qu'il existe une séparation tranchée entre le comblement et les cônes alluviens, ainsi que je l'ai tant de fois constaté, en cherchant à vérifier la démonstration que **M. Scipion Gras** en a donnée depuis longtemps ; on n'aurait donc plus à s'occuper pour le moment des alluvions superposées aux moraines profondes, dont elles diffèrent essentiellement, et il ne resterait plus qu'à rechercher les limites séparatives entre ces moraines et le surplus du comblement.

Ainsi que je viens de le rappeler, les glaciers sont sortis des vallées et se sont répandus dans la plaine de Turin ; en s'avançant successivement, ils ont établi leurs moraines profondes aussi bien que dans les bassins supérieurs, et si les nappes bordées par les moraines frontales d'Ivrée et de Rivoli sont des accumulations erratiques, la surface des parties envahies du bassin du Pô, au delà de ces premiers barrages et formant le prolongement de ces nappes, est évidemment aussi d'origine et de formation glaciaire.

A partir du premier bourrelet parallèle à la moraine de Rivoli jusqu'à Turin on ne remarque aucun changement dans la nature et dans l'arrangement des matériaux constituant le comblement ; on retrouve un dépôt identique à celui d'amont, et dans lequel a été reconnu une moraine profonde ; et cette parfaite identité indique un comblement exécuté dans les mêmes conditions et sous l'influence d'une même cause, qui, évidemment, a exercé son action sur toute cette surface du terrain, comme le prouvent les moraines frontales de Rivoli et d'Ivrée pour l'amont, et les dépôts de blocs de cailloux et de lehm erratiques jetés sur les flancs et sur les crêtes de la colline de Turin, pour le surplus.

On conçoit que dans la plaine du Rhin la pensée ait surgi de faire intervenir des courants pour opérer le comblement entre les Vosges et la Forêt-Noire, parce que, dans cette contrée, on ne rencontre

pas de traces saisissables à première vue de la présence des glaciers sortis des Alpes à une époque reculée. Mais, dans la partie du bassin du Pô dont il est question en ce moment, ces traces sont développées sur une immense échelle, et l'action glaciaire a produit, jusqu'à la colline, les mêmes effets qu'entre chacun des étages séparés des moraines frontales qui se relèvent à la sortie des vallées d'Aoste et du Mont-Cenis, et la moraine profonde des anciens glaciers réunis occupe tout l'espace qu'ils ont recouvert: le nivellement, la constitution de la nappe superficielle en fournissent la preuve. Et si, encore une fois, on parvenait à démontrer que ces glaciers n'ont commencé à avoir des moraines profondes qu'à partir de leurs premières moraines frontales, et qu'au delà de ces barrages le complément est dû à la réunion de déjections diluviennes, il ne faudrait pas moins admettre aussi que toutes les parties nivelées de la nappe ont été soumises à l'action glaciaire, et l'extension illimitée des glaciers; que les moraines profondes d'Ivrée et de Rivoli et le comblement, à l'aval jusqu'aux pieds de la colline, offrant identiquement les mêmes caractères, la distinction faite entre ces deux espèces de dépôts n'a rien de certain, et qu'enfin on pourra arbitrairement les rapporter soit au diluvium, soit aux formations erratiques.

Cependant les moraines profondes de Rivoli et d'Ivrée diffèrent essentiellement des déjections torrentielles; elles sont *nivelées en long et en travers;* elles se composent de boue, de sables, de fragments plus ou moins anguleux, de cailloux arrondis, polis, distribués sans ordre, mais offrant cependant une sorte de stratification irrégulière, indiquant que ces matériaux se sont accumulés par couches, par lits successifs, qui souvent se confondent les uns dans les autres. Sur quelques points, en suivant le cours des courants qui sortaient des glaciers, on voit les galets plus ou moins dégagés de l'enduit boueux, tandis que dans les cônes, les matériaux sont disposés par ordre de pesanteur; les plus volumineux suivent la direction de la veine fluide; les galets les moins gros et les sables viennent ensuite et latéralement; mais nulle part on n'y remarque des couches boueuses, ou des sables fins intercalés entre les amas de gros blocs.

Dans les moraines de Turin, les matériaux de la nappe n'ont été ni triés ni lavés : dans la couche superficielle ils sont mêlés à un

lehm rougeâtre, puis inférieurement à une boue grisâtre, et nulle part on n'aperçoit une séparation en deux assises, l'une inférieure et d'origine diluvienne, l'autre supérieure et erratique; entre Avigliana, Ivrée et la colline on ne voit aucune solution de continuité; la masse du comblement appartient en totalité soit aux formations erratiques, soit au diluvium, et non aux deux systèmes à la fois.

J'aurais voulu rendre ces considérations plus sensibles, en donnant des coupes cotées, prises sur un grand nombre de points de la vallée, mais il m'a été impossible de réunir *les éléments authentiques* nécessaires pour rapporter ces profils. Cependant, grâce à l'obligeance de **M. Sismonda**, je puis en donner quelques-unes.

Pentes du terrain de comblement.

Il. 54. On sait que les déjections torrentielles sont réglées suivant des pentes qui généralement ne descendent pas au-dessous de 2 centimètres par mètre, et ne dépassent pas 8 centimètres; que les formes normales de ces déjections se remarquent surtout quand les torrents débouchent dans des plaines, dans des bassins, où leurs alluvions peuvent s'étaler;

Que la boue se dépose sur des pentes très-variées, suivant qu'elle est plus ou moins épaisse;

Que le *gravier* comprenant des pierrailles de toute nature, depuis la grosseur du grain de sable jusqu'à celle des matériaux servant à l'empierrement des chaussées, se dépose sur des pentes qui n'excèdent pas $0^m,025$;

Que les galets, ou les pierres comprises entre les graviers et les blocs (ceux-ci comprenant les pierres qui ont plus de 25 centimètres de diamètre ou de côté) se déposent sur des pentes qui varient entre $0^m,025$ et $0^m,05$ par mètre;

Enfin que les blocs se déposent sur des pentes comprises entre $0^m,05$ et $0^m,08$ (5 et 8 centimètres).

On sait aussi qu'à Turin même, et dans les environs, le comblement formé de sables et de galets peut être considéré comme un mélange de graviers et de blocs, puisqu'on y trouve des blocs ayant moyennement 20 à 25 centimètres de diamètre, et plus; et que l'épaisseur de la nappe est considérable, puisqu'un sondage pratiqué, pour chercher des eaux jaillisantes à Turin, a été poussé dans ce comblement jusqu'à 50 mètres au-dessous de la surface du sol.

cordées, comme on le voit aux embranchements des vallées latérales, de manière à former une nappe continue, un immense plan incliné, enfin une seule masse, à surface presque horizontale sous l'influence d'un nombre infini de courants, de puissances et d'allures, qui nécessairement aussi devaient varier à l'infini : le Pô alimenté par tous les affluents descendant de la chaîne des Alpes devait avoir une puissance beaucoup plus grande que la branche qui, en passant par la vallée d'Asti, réunissait les eaux de la Haute-Stura et du Tanaro : aussi les déjections vers le confluent à l'extrémité de la colline de Turin devraient présenter des renflements et une dépression médiane; et cependant elles se raccordent parfaitement au plan incliné du grand bassin, et le comblement du Tanaro et de la Bormida semble n'être que la continuation et qu'une déviation latérale et dans le même plan, de la nappe principale (fig. 11).

Le Pô.

Moraines de Rivoli et d'Ivrée.

Les moraines de Rivoli et d'Ivrée ne sont pas les seules que l'on rencontre aux abords de la plaine du Pô, et les anciens glaciers y sont parvenus non-seulement par les vallées des deux Doires, mais encore en franchissant les bassins occupés par les lacs Majeur, de Côme, de Garde, fermés par des moraines frontales très-puissantes.

Moraine profonde de Riva.

Le glacier qui occupait autrefois le bassin de Luganon, a laissé, à l'amont et à l'aval du côté de Riva, une moraine profonde parfaitement nivelée, et, après avoir franchi un barrage naturel, a formé les hautes moraines latérales et le comblement régulier de la vallée de Mendrisio, dans la direction de ce lac et du glacier de Côme, tandis que ce dernier s'est avancé dans la plaine vers Milan, en laissant des bourrelets concentriques en saillie sur la nappe profonde jusque dans les environs de la station de Serregno.

Entre ces bourrelets on rencontre des tourbières, des couches assez puissantes de lehm; les galets et les blocs de la nappe et de ces moraines offrent toutes les formes des matériaux erratiques, et sur divers points ils sont agglutinés et constituent un véritable nagelflue.

Serregno à Milan.

Près de Serregno on remarque encore quelques légers renflements coupés pour l'établissement du chemin de fer, et jusqu'à Milan la nappe suit une ligne de pente continue, et ne diffère en aucune manière des portions comprises entre les bourrelets; sa surface est recouverte de lehm.

A l'aval du lac Majeur, les dépôts erratiques sont développés sur une très-grande échelle dans la direction de Novare. Au delà de la moraine frontale de Sesto on aperçoit une immense moraine latérale qui se prolonge dans la direction des proéminences bordant la rive occidentale du lac, entre le Tessin et la vallée de Borgomanero, bien au delà du village d'Oleggio, bâti sur la crête de cette moraine, formant de grandes terrasses étagées, au sommet desquelles on voit des amas de gros blocs et de puissantes assises de lehm, à Marano principalement (fig. 11). Lac Majeur. Sesto. Oleggio. Marano.

Au pied de ces moraines, le comblement nivelé, dans le prolongement de la plaine, est formé de sables, de galets associés au lehm, comme dans la nappe qui s'étend en face de Sesto, à partir de la pointe et de la rive méridionale du lac jusqu'à la moraine frontale marquant la limite du bassin. Sur la rive gauche, entre Laveno et Porto on remarque des moraines latérales, et enfin, sur la rive droite, à Cannobio on voit des rochers moutonnés, polis et striés dont les stries s'enfoncent même au-dessous du niveau des eaux.

On comprend que des cailloux et des blocs, charriés par des courants doués d'une certaine énergie, soient entraînés depuis les Alpes jusqu'au bassin du Pô, en suivant la plupart des vallées; mais lorsque ces courants devaient franchir les lacs Majeur, de Côme, de Lecco, de Garde, le transport de ces matériaux devenait impossible. Et cependant, à l'aval de ces bassins profonds, le comblement ne présente pas de lacunes, ni de dépressions; il est aussi complet que dans les environs de Turin, et il se raccorde au plan incliné qui, de Cuneo à l'issue de la vallée de la Haute-Stura, passe à Turin, Milan et vient se terminer à l'Adriatique, en contournant le pied des Apennins et des Alpes de la Suisse et du Tyrol, jusque dans les environs d'Udine et de Rimini. Lac Majeur. Lac de Côme. Lac de Lecco. Lac de Garde.

Et l'on ne saurait attribuer exclusivement au Pô et à ses affluents, tels que la Haute-Stura, la Dora Ripaira, la Dora Baltea, la Stura, l'Orco, l'Elvo et la Sesia, provenant des massifs du Mont-Viso, du Mont-Cenis, du Mont-Blanc et du Monte-Rosa, ou du revers des Apennins, la formation du comblement du bassin. Le Tessin, l'Adda, l'Oglio et le Mincio ont leurs lits creusés dans des dépôts de galets provenant de l'amont et qui ont franchi les lacs que traversent ces

rivières; des courants les auraient amoncelés dans ces cavités et en seraient sortis chargés seulement de légers détritus, éléments de sédiments plus ou moins puissants, mais non de nappes de sables et de galets *mêlés à la boue glaciaire*, qui, évidemment n'a pas commencé à se produire avant l'apparition des glaciers.

Les anciens glaciers seuls ont pu, en passant par dessus ces lacs, transporter les éléments du comblement dans la vallée du Pô, comme ceux du Rhône, de l'Aar et du Rhin ont, en franchissant les lacs de Genève, de Brienz, de Thun, de Wallenstadt, de Constance et de Zurich etc. etc., jeté sur le Jura des blocs erratiques alpins, des moraines frontales et latérales, à Berne, à Soleure, à Zurich etc. etc., et surtout former des moraines profondes dont l'examen et l'étude nous conduisent à admettre les mêmes causes pour des effets analogues observés dans le bassin du Pô.

Plaines du Piémont et de la Lombardie. Nappe de comblement.

H. 55. Jusqu'à ce moment j'ai considéré la vaste plaine du *Piémont* et de la *Lombardie* comme une grande nappe ayant une pente uniforme; mais il est temps de faire remarquer que transversalement elle offre deux plans réguliers très-légèrement inclinés vers le cours du Pô qui en marque la rencontre, disposition que l'on observe dans toutes les nappes d'une certaine largeur et que ne présentent jamais les déjections alluviennes, offrant au contraire et toujours un *renflement* plus ou moins prononcé, suivant l'axe du courant qui les a produites.

Le sol fondamental de cette plaine renferme des éléments grossiers et des blocs *souvent très-gros* de diverses roches provenant des Alpes, et s'étend au-dessous du niveau de la mer. La partie supérieure est généralement constituée par une *couche de lehm* plus ou moins puissante, sensiblement parallèle à la surface de la nappe, et qui offre l'aspect d'un dépôt de sédiment formé sur des terrains inondés; quelques portions de la surface de la nappe cependant en sont dépourvues; c'est ainsi qu'il n'existe pas sur le plateau de la rive droite du Tessin, en avant de Trecate, où l'on remarque un immense terrain couvert de chétifs arbrisseaux et qui rappelle l'Ochsenfeld du bassin du Rhin.

Le lehm, produit de la trituration des roches soumises à l'action glaciaire, aurait pu se former après une époque diluvienne, quand déjà le bassin était comblé, et au moment où les glaciers commen-

çaient à recouvrir les Alpes. Cependant on le trouve associé non-seulement aux matériaux des moraines profondes non contestées, à ceux des moraines frontales et aux accumulations erratiques jetées sur la colline de Turin, sur les flancs et sur les crêtes de diverses proéminences, mais encore aux diverses couches, et à toutes les profondeurs, aux galets, aux blocs et aux sables plus ou moins grossiers du comblement de la plaine ; il n'y est pas comme élément accessoire, accidentel et introduit après coup, sur certains points, mais comme partie essentielle et constitutive, et indistinctement dans toute l'étendue du dépôt, que la présence de *la boue glaciaire* ne porte certainement pas à considérer comme une formation antérieure à l'époque erratique.

Les galets glaciaires enveloppés de lehm perdent cet enduit boueux aussitôt qu'ils sont exposés à l'action des courants d'eau.

D'un autre côté on sait que le lehm s'accumule, soit sous forme d'amas ou de couches boueuses, soit sous forme de sédiment dans les bassins où les eaux sont calmes, et qu'il ne se dépose dans aucun des lits de cours d'eau rapides, sortant de la région des glaciers ; on a observé en outre que les galets glaciaires enveloppés de lehm perdent cet enduit boueux aussitôt qu'ils sont exposés à l'action des courants, et que dans tous les bancs de sables grossiers, de graviers et de galets remaniés, même par des eaux chargées de lehm, ces matériaux parfaitement lavés n'en conservent plus de traces : son existence et sa conservation dans le comblement du Pô serait donc à la fois une preuve positive de l'âge réel du comblement, et une preuve négative d'un transport par des courants violents ou diluviens, avant et pendant l'époque glaciaire.

Les rivières ont creusé leurs lits plus ou moins profondément dans la nappe de sables et de galets qu'elles attaquent continuellement et dont elles réduisent et transportent au loin les éléments pour en constituer des déjections ou alluvions de l'époque actuelle. Les travaux qu'elles exécutent font l'objet de remarquables mémoires dont **M. Élie de Beaumont** a donné une savante analyse dans le premier volume de ses leçons de géologie pratique (9e *Leçon*, p. 323).

Le Pô et l'Adige.

Les alluvions actuelles tendent à effacer les lagunes, le phénomène des remblais marche avec une grande rapidité, et sans les travaux des Vénitiens, tout l'espace situé en arrière de la digue naturelle des Lidi serait aujourd'hui comblé et transformé en prai-

ries. Le Pô et l'Adige ne paraissent pas avoir toujours versé leurs eaux et leurs sédiments dans la mer ainsi qu'ils le font aujourd'hui; tout annonce qu'avant d'en arriver là, ils ont eu à combler des lagunes, comme la Brenta le ferait aujourd'hui sans les travaux des Vénitiens : c'est là que leur delta s'est étendu et développé pendant longtemps.

La marche des alluvions ayant été très-rapide, le Pô a dépassé la ligne originaire du littoral et est entré dans la mer : il n'entraîne, jusqu'à ses parties inférieures, que des matières terreuses, et ne charrie de petits galets que jusqu'aux environs de Plaisance, ville déjà très-éloignée de l'embouchure.

Ces dépôts formés par les rivières sont les alluvions anciennes ou actuelles, constituant l'étage supérieur du comblement : dans les lagunes, les sédiments s'accumulent sous forme de nappes, comme les détritus glaciaires se sont déposés autrefois, tandis que les matières transportées et abandonnées par les eaux courantes constituent des cônes très-déprimés dont l'inclinaison, variant suivant la nature de ces matières, est cependant toujours appréciable.

Quand une rivière a allongé ses berges aux dépens de la mer ou d'une lagune, il faut qu'elle conserve la pente nécessaire au débit de ses eaux, que sa surface s'élève dans toute sa longueur, comme l'indiquent les fig. 12 et 13; de là il résulte qu'elle s'ensable elle-même, car tant qu'elle n'a pas cette pente indispensable, elle coule très-lentement, et les matières terreuses se déposent dans son fond jusqu'à ce qu'elle reprenne la pente, et, par suite, la vitesse qui lui permet de tenir des matières terreuses en suspension.

Un autre phénomène très-remarquable, c'est la forme ramifiée que prennent les rivières lorsqu'elles arrivent dans la mer, dans des circonstances pareilles à celles où se trouve le Pô, c'est-à-dire lorsqu'elles ont à décharger des matières terreuses sur un terrain plat, et où il leur est par conséquent facile de faire reculer le littoral (fig. 14). Si la mer eût été très-profonde, le Pô n'aurait fait qu'en combler le fond; il aurait pu par conséquent se décharger toujours au même point, et son embouchure n'aurait pas changé de place; mais dans des lagunes et sur une côte plate il a dû encombrer son embouchure de ses dépôts, il a fait reculer la mer par ses alluvions et il a allongé son lit en même temps qu'il l'élevait.

Il faut remarquer la manière dont se fait cet allongement : les eaux perdant leur vitesse, surtout dans les parties latérales, la vase se dépose des deux côtés, et il en résulte des digues qui s'avancent parallèlement au cours du fleuve ; les fig. 12 et 13 représentent la coupe transversale et longitudinale de ces dépôts terreux. Ces digues sont très-étroites, et le fleuve, qui s'élève sans cesse par suite de l'allongement même de son lit, finit par rompre l'une de ses rives. Il trouve dans la rupture même une pente rapide, et il se fait un lit dans une nouvelle direction.

Dans la nappe de comblement erratique ou diluvien renfermant des éléments grossiers et des blocs, souvent très-gros, qui s'étend au-dessous du niveau de la mer, retrouvons-nous quelques dispositions qui puissent permettre une comparaison entre cette immense accumulation et les déjections ou les alluvions des torrents et des rivières?

Si le Pô réduit à ses proportions actuelles allonge et élève graduellement son delta au delà du cordon littoral, et si, à une époque plus reculée, il avait été alimenté et grossi par des courants puissants sortis des Alpes, chargés de matériaux plus volumineux que ceux qu'il charrie aujourd'hui, il aurait nécessairement exécuté, mais sur une échelle beaucoup plus considérable, des travaux analogues. Son lit se serait élevé par les additions successives des matériaux qui seraient venus l'encombrer, et il aurait formé une vaste déjection sur cette côte plate que baigne la mer, un delta diluvien dont les ensablements modernes formeraient le prolongement. Dans ce même temps chacun des courants déversant ses eaux et ses déjections dans le bassin aurait élevé un cône plus ou moins puissant, selon sa force et la plus ou moins grande quantité des matériaux enlevés aux bassins d'alimentation.

Les sommets de ces cônes se seraient élevés à divers niveaux ; on remarquerait entre eux des lacunes plus ou moins prononcées ou partiellement couvertes de cônes moins puissants dus aux cours d'eau les plus faibles ; enfin, au lieu de cette plaine unie, on ne retrouverait dans le bassin de la Lombardie qu'un comblement irrégulier, mamelonné et fortement accidenté.

D'après ces diverses considérations, on doit le comprendre, je ne pouvais admettre sans examen l'origine diluvienne du comblement

du Pô au delà des premières moraines frontales, et au-dessous des lacs; et l'étude des terrains constituant cette vaste plaine, loin de dissiper mes doutes à cet égard, m'a fourni l'occasion d'observer des faits à l'appui de l'opinion que je vais résumer en terminant.

Conclusions.

Les anciens glaciers des Alpes ne se sont pas arrêtés au débouché des vallées, mais ils se sont répandus sur toute la surface du bassin du Pô, puisque sur les crêtes et sur les flancs de la colline de Turin on voit des traces incontestables de leur séjour et de leur action.

Moraines frontales de Turin, d'Ivrée, des Lac Majeur, de Côme, de Lecco, de Garde.

En se retirant, ils ont élevé les moraines frontales de Turin, d'Ivrée, des lacs Majeur, de Côme, de Lecco, de Garde. En avant et en arrière de ces barrages se développent les moraines profondes dont la réunion a formé le comblement du bassin, cette immense nappe de sables, de galets et de *blocs unis à la boue glaciaire;* le comblement dans toutes ses parties, et de la base à la surface, offrant les mêmes caractères et le même arrangement que les moraines profondes, ne peut être rapporté et comparé qu'à ces moraines dans lesquelles on n'aperçoit nulle séparation en deux étages, l'un inférieur ou diluvien, l'autre supérieur ou erratique.

La présence du lehm ou boue glaciaire dans toutes les parties de la nappe profonde, l'absence de traînées de blocs plus volumineux suivant les axes des courants prouvent que cette nappe n'a été ni constituée avant l'époque glaciaire, ni remaniée ni réglée postérieurement par des courants violents.

Les glaciers seuls ont pu franchir les lacs et transporter dans la vallée du Pô des détritus erratiques que des courants auraient abandonnés dans ces cavités.

Cônes de déjections.

Les cônes de déjection des torrents récents et actuels, ainsi que les atterrissements et les alluvions s'étalent à la surface de la nappe qu'ils recouvrent; leurs formes et leur position permettent toujours de les séparer du comblement et révèlent une origine différente; enfin les alluvions et les déjections des torrents diffèrent aussi essentiellement du comblement que des moraines frontales ou latérales; et il serait aussi rationnel d'attribuer à l'action des courants la création des barrages de Rivoli et d'Ivrée, de Sesto, de Côme etc., que d'admettre dans une nappe réglée comme celle du Pô, et offrant les caractères que j'ai indiqués, une accumulation diluvienne.

Glaciers anciens.

Les glaciers en sortant des vallées, du revers méridional des Alpes, ont marché dans la direction de Turin; en raison de leur puissance, dont le développement de leurs bassins d'alimentation peut donner une idée, ils ont repoussé contre la colline les glaciers de la Grana, de la Maira, de la Varaita, du Pô, du Clusone et du Sangone, et le cours d'eau principal qui s'en échappait; tandis que les glaciers de la Haute-Stura et du Tanaro trouvaient une issue latérale par la vallée d'Asti; et à partir de Turin, le grand glacier médian, maintenu dans la direction générale de l'ouest à l'est par les glaciers latéraux du Tanaro à l'aval d'Alexandrie, des Apennins et des Alpes du Tyrol, a suivi la ligne de pente vers la mer, et a tracé jusqu'à l'Adriatique le cours du Pô, marquant, par ses déviations, à droite et à gauche de cette direction générale, les oscillations latérales de l'ancienne mer de glace du bassin de la Lombardie.

Le 15 juillet 1851. H. Hogard.

TERRAIN ERRATIQUE DE LA VALLÉE DU RHIN POSTÉRIEUR.

Nappe de comblement de l'ancien glacier du Rhône.

H. 56. La moraine profonde de l'ancien glacier du Rhin, qui se développe entre les Vosges et la Forêt-Noire, se retrouve dans toutes les parties de la vallée supérieure jusqu'aux environs de la source du fleuve; elle forme un plan incliné continu entre les lacs de Constance et de Wallenstadt et Reichenau; puis, à l'amont de ce point, elle se divise en nappes étagées, interrompues dans tous les défilés, et chaque fois que les dispositions du sol trop accidenté, des pentes trop rapides ou des escarpements en ont ou empêché le dépôt ou favorisé la destruction. — C'est une immense accumulation de débris des masses minérales provenant de la vallée principale et de ses divers affluents, de sables, de galets et souvent de blocs, plus ou moins parfaitement polis, ayant conservé des traces incontestables des chocs et des frottements qu'ils ont subis pendant leur transport. La surface de ce dépôt est presque toujours dressée d'une manière tellement parfaite qu'elle semble horizontale, et que latéralement elle dessine aux pieds des montagnes bordant les bassins

qu'elle occupe, une ligne paraissant de niveau et rappelant les rives des lacs : la masse entière semble marquer des cavités autrefois inondées, remplacées aujourd'hui par des comblements dont les surfaces auraient conservé une horizontalité presque aussi parfaite que celle des eaux dans les moments de calme.

Les matériaux de cette nappe ont évidemment été transportés ; on trouve des galets alpins dans toute la basse vallée, et des galets provenant de la haute vallée, non-seulement suivant le cours du Rhin, mais encore dans la direction de Zurich. Et si l'on admettait que des courants seuls ont pu en opérer le transport, il faudrait rechercher de quelle manière les lacs de Constance et de Wallenstadt ont été franchis, et pourquoi ces immenses cavités n'ont pas été comblées tout d'abord, fait qui jusqu'ici est resté sans explication.

Examinons s'il serait plus facile de rendre compte de l'action des courants à l'amont de ces bassins et jusqu'au glacier de Rheinwald.

Rhin postérieur à l'amont de Reichenau.

H. 57. Le Rhin postérieur, à l'amont de Reichenau, reçoit plusieurs affluents, tels que l'Albula, le Schein, le torrent de Ferrara ; la vallée offre des bassins élargis à Hinter-Rhein, au Splügen, à Andeer, à Tusis, et ces bassins sont séparés par les défilés de la Rofla, de la Via-Mala, dans lesquels la pente longitudinale très-inclinée est entrecoupée de nombreuses chutes.

La vitesse des eaux variant à chaque instant suivant la pente et les sections du terrain qu'elles parcourent, et en raison de leur masse, leur force et les résultats de leur action devaient nécessairement varier aussi, et le Rhin aurait subi toutes les phases d'un torrent ayant ses bassins de réception et des goulots d'écoulement, à la suite desquels les déjections ou le comblement pouvaient s'accumuler.

Via-Mala.

Si l'on admet qu'à une certaine époque il occupait dans la vallée toute l'étendue de terrain marquée par la nappe profonde, il faudra en même temps supposer une masse d'eau assez considérable sortant de la coupure étroite et rapide de la Via-Mala, avec une très-grande vitesse, et rejetant dans le bassin de Tusis les matériaux entraînés du haut de la vallée.

A l'entrée de ce bassin, la pente diminuant subitement, les matériaux pouvaient s'accumuler et constituer un cône de déjection

plus ou moins bombé, ayant sur l'arête supérieure, c'est-à-dire suivant la ligne de la plus grande pente ou de la direction du courant, les blocs les plus volumineux, diminuant de grosseur à partir de la sortie de la gorge ; les blocs les plus petits, les galets et les sables vers les extrémités inférieures ou latérales du dépôt; dispositions qu'affectent toujours les déjections produites par les cours d'eau agissant dans les conditions où le Rhin se serait trouvé évidemment à la hauteur du Tusis.

Rofla. Andeer. Hinter-Rhein, Splügen.

A la sortie du défilé de la Rofla, à Andeer, et des passages resserrés de Hinter-Rhein et du Splügen, on devrait retrouver de semblables dépôts. Et cependant, comme celle de Tusis, les nappes situées à divers étages dans les élargissements successifs de la vallée, sont toujours parfaitement dressées ainsi que je l'ai dit. Les matériaux dont elles sont formées constituent une masse, dans l'intérieur de laquelle on ne remarque aucun arrangement particulier, ni triage ni distribution par ordre de grosseur, indiquant diverses périodes et des variations dans la masse et la vitesse des courants.

On trouve dans toutes les parties indistinctement des blocs, des sables et des galets, enveloppés de lehm ou de boue glaciaire, confusément entassés, mais jamais distribués par lits parallèles au plan de la surface ou affectant diverses ondulations ; on y chercherait inutilement ces galets imbriqués les uns sur les autres, marquant un travail incontestable des eaux et tels que nous les observons dans les bancs formés journellement dans le lit du Rhin ; l'absence d'une traînée médiane de blocs plus volumineux ne permet pas d'admettre une veine fluide, un courant médian : les eaux auraient donc eu, dans toute l'étendue de ces bassins et sur toute leur largeur, la même force, la même vitesse; c'est là une hypothèse inadmissible et à laquelle l'observation du régime des rivières démontre qu'on ne saurait s'arrêter.

Lit du Rhin. Action de l'eau.

H. 58. Le lit du Rhin, creusé dans la nappe de comblement, est une coupure plus ou moins profonde, dans les limites de laquelle on observe tous les effets de l'action des eaux : des bancs de sables et de graviers, des couches limoneuses laissées sur des terrains accidentellement et momentanément inondés sur les deux rives, et tendant à combler les plis, les inégalités des graviers remaniés (pl. 18, fig. 3, 4, 5); sur les surfaces sableuses, ces zones, ces

qu'elle occupe, une ligne paraissant de niveau et rappelant les rives des lacs : la masse entière semble marquer des cavités autrefois inondées, remplacées aujourd'hui par des comblements dont les surfaces auraient conservé une horizontalité presque aussi parfaite que celle des eaux dans les moments de calme.

Les matériaux de cette nappe ont évidemment été transportés; on trouve des galets alpins dans toute la basse vallée, et des galets provenant de la haute vallée, non-seulement suivant le cours du Rhin, mais encore dans la direction de Zurich. Et si l'on admettait que des courants seuls ont pu en opérer le transport, il faudrait rechercher de quelle manière les lacs de Constance et de Wallenstadt ont été franchis, et pourquoi ces immenses cavités n'ont pas été comblées tout d'abord, fait qui jusqu'ici est resté sans explication.

Examinons s'il serait plus facile de rendre compte de l'action des courants à l'amont de ces bassins et jusqu'au glacier de Rheinwald.

Rhin postérieur à l'amont de Reichenau.

H. 57. Le Rhin postérieur, à l'amont de Reichenau, reçoit plusieurs affluents, tels que l'Albula, le Schein, le torrent de Ferrara; la vallée offre des bassins élargis à Hinter-Rhein, au Splügen, à Andeer, à Tusis, et ces bassins sont séparés par les défilés de la Rofla, de la Via-Mala, dans lesquels la pente longitudinale très-inclinée est entrecoupée de nombreuses chutes.

La vitesse des eaux variant à chaque instant suivant la pente et les sections du terrain qu'elles parcourent, et en raison de leur masse, leur force et les résultats de leur action devaient nécessairement varier aussi, et le Rhin aurait subi toutes les phases d'un torrent ayant ses bassins de réception et des goulots d'écoulement, à la suite desquels les déjections ou le comblement pouvaient s'accumuler.

Via-Mala.

Si l'on admet qu'à une certaine époque il occupait dans la vallée toute l'étendue de terrain marquée par la nappe profonde, il faudra en même temps supposer une masse d'eau assez considérable sortant de la coupure étroite et rapide de la Via-Mala, avec une très-grande vitesse, et rejetant dans le bassin de Tusis les matériaux entraînés du haut de la vallée.

A l'entrée de ce bassin, la pente diminuant subitement, les matériaux pouvaient s'accumuler et constituer un cône de déjection

plus ou moins bombé, ayant sur l'arête supérieure, c'est-à-dire suivant la ligne de la plus grande pente ou de la direction du courant, les blocs les plus volumineux, diminuant de grosseur à partir de la sortie de la gorge ; les blocs les plus petits, les galets et les sables vers les extrémités inférieures ou latérales du dépôt; dispositions qu'affectent toujours les déjections produites par les cours d'eau agissant dans les conditions où le Rhin se serait trouvé évidemment à la hauteur du Tusis.

Rofla. Andeer. Hinter-Rhein. Splügen.

A la sortie du défilé de la Rofla, à Andeer, et des passages resserrés de Hinter-Rhein et du Splügen, on devrait retrouver de semblables dépôts. Et cependant, comme celle de Tusis, les nappes situées à divers étages dans les élargissements successifs de la vallée, sont toujours parfaitement dressées ainsi que je l'ai dit. Les matériaux dont elles sont formées constituent une masse, dans l'intérieur de laquelle on ne remarque aucun arrangement particulier, ni triage ni distribution par ordre de grosseur, indiquant diverses périodes et des variations dans la masse et la vitesse des courants.

On trouve dans toutes les parties indistinctement des blocs, des sables et des galets, enveloppés de lehm ou de boue glaciaire, confusément entassés, mais jamais distribués par lits parallèles au plan de la surface ou affectant diverses ondulations ; on y chercherait inutilement ces galets imbriqués les uns sur les autres, marquant un travail incontestable des eaux et tels que nous les observons dans les bancs formés journellement dans le lit du Rhin ; l'absence d'une traînée médiane de blocs plus volumineux ne permet pas d'admettre une veine fluide, un courant médian : les eaux auraient donc eu, dans toute l'étendue de ces bassins et sur toute leur largeur, la même force, la même vitesse; c'est là une hypothèse inadmissible et à laquelle l'observation du régime des rivières démontre qu'on ne saurait s'arrêter.

Lit du Rhin. Action de l'eau.

H. 58. Le lit du Rhin, creusé dans la nappe de comblement, est une coupure plus ou moins profonde, dans les limites de laquelle on observe tous les effets de l'action des eaux : des bancs de sables et de graviers, des couches limoneuses laissées sur des terrains accidentellement et momentanément inondés sur les deux rives, et tendant à combler les plis, les inégalités des graviers remaniés (pl. 18, fig. 3, 4, 5); sur les surfaces sableuses, ces zones, ces

cavités, ces bourrelets, indices constants des remaniements, des déplacements et du transport exécutés par les eaux. Mais nulle part on ne voit une surface dressée, soit longitudinalement, soit transversalement, qui puisse, sur un seul point et même sur une échelle très-petite, offrir un exemple d'un comblement régulier exécuté ou terminé par un courant calme ou rapide.

Lorsqu'un cours d'eau, dans un bassin resserré, peut parcourir successivement toute une portion de la nappe, l'attaquer et ouvrir un certain nombre de canaux d'écoulement, la régularité du comblement est presque entièrement détruite sur une certaine étendue de terrain ; aux abords de quelques glaciers, par exemple, la moraine profonde, sillonnée et recouverte par les débris entraînés et dispersés de la moraine frontale, affecte quelquefois l'aspect d'une déjection torrentielle; mais la moraine profonde se prolongeant sous le glacier, et se retrouvant ensuite à distance avec toute sa régularité, on s'aperçoit bien vite que la disposition dont je parle n'est qu'un fait accidentel qui s'explique d'ailleurs parfaitement.

A l'amont du village de Hinter-Rhein, la nappe de comblement se prolonge sur plusieurs kilomètres, et elle se termine à l'entrée du dernier défilé séparant le premier bassin de la vallée du glacier actuel; le Rhin se précipite entre des rochers étagés et coule dans les crevasses profondes qui les divisent; sur la droite un glacier, descendant du flanc occidental du Vogelberg, rejette dans son lit des blocs et des débris que les eaux déplacent et entraînent en partie et étalent sur la nappe, à l'origine même du bassin.

Ici, comme dans le voisinage de tous les glaciers, on comprend immédiatement les causes en étudiant les effets (pl. 15, fig. 2).

La nappe profonde, découpée par un certain nombre de canaux, est cependant réglée transversalement et longitudinalement; quelques blocs sont éparpillés à sa surface, unie d'ailleurs comme le serait celle d'un lac occupant le bassin.

Un amas de neige mêlée de débris de rochers et de végétaux couvre une partie du cours du Rhin, mais, du point où il s'échappe de la voûte glacée, on remarque un cône de déjection qu'il a formé et qu'il continue à prolonger sur la nappe.

Ce cône aujourd'hui n'a que quelques centaines de mètres de longueur; il donne, ainsi que les canaux creusés dans le comble-

ment, la mesure du travail que peut exécuter le cours d'eau actuel; un torrent plus puissant agrandirait ce cône et creuserait dans la nappe des fouilles plus profondes; mais dans aucun cas, et quelle que soit la masse de ses eaux, il ne remplirait pas le bassin d'une nouvelle couche parallèle à la surface unie de la nappe, que le cône *recouvre* et sur *laquelle il s'étale.*

Ces relations, cette superposition ne sont-elles pas une preuve de la séparation naturelle des deux dépôts, aussi bien que de leur succession; ne voit-on pas que le comblement ou la nappe établie en premier lieu dans le fond du bassin, ne résulte pas de l'action d'un courant qui lui aurait imprimé une autre forme en y introduisant des caractères qu'elle n'offre pas, une distribution par ordre de grosseur des matériaux; que l'action des eaux est marquée sur cette nappe dans laquelle le Rhin a tracé des sillons et opère encore d'incessantes érosions; que les eaux n'ont commencé à agir seules sur la moraine abandonnée qu'après la retraite du glacier; que le *dépôt alluvial* ou de transport par le courant se réduit à un cône de déjection d'une minime importance; enfin que, depuis que le glacier est confiné dans la région supérieure du bassin, le Rhin, à aucune époque, n'a éprouvé de crues violentes, subites ou prolongées, puisqu'il n'existe à la surface de la nappe aucune trace de coupures ou de déjections révélant le passage d'un torrent plus puissant?

Les eaux tendent donc à détruire l'harmonie des moraines profondes, et chaque fois que les circonstances locales ont favorisé le déplacement des matériaux erratiques ou provenant de la destruction continnelle des masses minérales, et le transport de ces matières par des courants, les comblements ou les déjections alluviens sont *toujours nettement séparés* des dépôts que je considère comme les moraines profondes des anciens glaciers et *leur sont constamment superposés.*

La séparation des moraines profondes et des dépôts *d'origine alluvienne incontestable* est un fait constant et qu'on peut vérifier à chaque pas; ces dépôts sont donc plus récents, et la production des uns et des autres dépend de deux causes différentes qui ont agi successivement, puisqu'il n'y a pas mélange, confusion, mais toujours *séparation* et *superposition.*

Si le comblement dont il est question était un dépôt alluvien, il

serait le résultat d'un travail plus ou moins prolongé du Rhin et de tous ses affluents, qui auraient confondu leurs eaux et les matériaux transportés dans le bassin principal. Les déjections, comme cela arrive toujours au confluent de deux courants, constitueraient des cônes distincts ou réunis par un de leurs côtés, disposition dont on voit un exemple frappant à l'amont du lac de Lungern (*B*, *C*, pl. 16), mais non une nappe régulière, un plan incliné se prolongeant sans interruption et sans renflement dans les vallées latérales.

Comblement de la vallée de la Linth.

H. 59. A la hauteur de Sargans le comblement du Rhin se divise en deux branches, l'une suivant le cours de ce fleuve, jusque dans la basse vallée, l'autre se dirigeant vers Wallenstadt et débordant le lac jusqu'au delà de Schænis.

La présence de matériaux du bassin du Rhin rejetés dans la vallée de la Linth a pu faire supposer que le Rhin avait autrefois coulé en totalité ou en partie dans cette direction, et que ses eaux, à une certaine époque, s'étaient jetées dans le lac de Zurich, et qu'il ne faudrait pas une crue considérable pour les ramener de ce côté, la nappe entre Sargans et Vilters n'étant élevée que de quelques mètres au-dessus de son lit.

Cependant on ne remarque, sur cette branche du comblement, ni érosions ni coupures indiquant le passage d'un courant, tandis que les limites du lit du fleuve sont parfaitement marquées et font voir qu'il continue à suivre sa direction primitive, dont il n'aurait pu s'écarter d'ailleurs sans laisser des traces de son action accidentelle ou prolongée sur la nappe de sables et de galets.

Ces matériaux provenant de la vallée du Rhin, et transportés au delà du lac de Wallenstadt, sont cités comme une preuve d'une dérivation ancienne et momentanée du cours d'eau dans cette direction. Mais si l'on examine ce dépôt jeté latéralement en dehors de la direction de la masse à laquelle il se rattache, et à environ 38 kilomètres de Sargans, on n'y verra certainement pas une déjection diluvienne.

Les observations de **M. Guyot**, sur la distribution du terrain erratique de la Suisse, ont démontré que ces dépôts du Rhin et de la Linth viennent *se toucher* dans le voisinage de Schænis, mais que loin de se confondre ils restent nettement séparés.

Les deux moraines profondes se raccordent au même plan incliné, et celle du Rhin s'appuie vers la droite ou contre le pied des montagnes bordant la vallée près de Rufi. Au delà de ce point elle marche parallèlement à la moraine de la Linth et s'avance dans la direction du Rapperschwyl et Bulach. Ici, comme toujours, la séparation des dépôts, provenant de deux bassins différents, démontre qu'au moment où ils se sont rapprochés, ils étaient soumis à une cause qui ne permettait ni la production de mouvements brusques dans la marche des matériaux transportés, ni leur mélange, qui infailliblement aurait eu lieu s'ils avaient été roulés dans les eaux de deux courants opérant leur jonction au-dessous du lac de Wallenstadt.

Dans tous les cas, ces courants auraient dû exécuter le comblement de la Linth, soit simultanément, soit successivement; mais on vient de voir déjà que la séparation et la juxta-position des nappes ne permet pas de s'arrêter à la première hypothèse : quant à la seconde, la même raison doit la faire rejeter aussi, puisqu'il n'y a ni superposition ni relèvement.

En dehors de la nappe il existe sur la droite de la vallée, à Wesen et sur les flancs du Schænisberg, un dépôt de cailloux agglutinés, un véritable nagelflue, provenant du bassin du Rhin; son élévation au-dessus du niveau du lac étant assez considérable, le courant à ce point aurait eu une très-grande profondeur, et par conséquent assez de force et de vitesse pour entraîner ces cailloux beaucoup plus loin et en former une traînée latérale sur la rive droite du bassin.

La moraine profonde se prolonge vers le lac de Zurich avec la même régularité: à l'amont de Benken un mamelon transversal, et partant des massifs des montagnes de la rive droite, barre presque entièrement la vallée et ne laisse contre la rive gauche qu'un passage assez resserré (pl. 8). Lac de Zürich.

Dans l'espèce d'anse que dessine ce mamelon, à ses pieds, à l'amont et à l'aval, la nappe n'a éprouvé aucune inflexion: elle paraît horizontale, et on voit que cet obstacle n'a pas causé de perturbation, ni dans le transport des matériaux ni dans leur arrangement. Cependant un cours d'eau parcourant la vallée aurait éprouvé un ralentissement contre ce barrage, puis une accélération de vitesse

dans le défilé ; ses alluvions se seraient amoncelées à l'amont dans l'anse, et latéralement à l'aval dans la direction de la veine fluide, et leur hauteur aurait graduellement diminué.

Nappes de comblement du Rhin et de la Linth.

H. 60. Les dispositions du terrain, le raccordement des nappes du Rhin et de la Linth à un même plan incliné, la brusque interruption du comblement du Rhin, dans un des passages les plus larges de la vallée, et sur un point assez éloigné du mamelon de Benken, sont des faits dont on a d'ailleurs de nombreux exemples dans les Alpes, et qu'on ne saurait expliquer autrement que par l'intervention des glaciers.

J'ai fait remarquer, en parlant des matériaux dont se compose la moraine profonde, qu'il y a mélange confus de sables, le lehm, de galets anguleux ou arrondis, et que quelques-uns de ces cailloux ont des surfaces planes ou courbes parfaitement polies. Ceux-ci se rencontrent sur tous les points, non-seulement à de grandes distances des lieux où l'on retrouve en place les rochers desquels ils ont été extraits, mais encore dans les bassins supérieurs et aussi avant que l'on peut pénétrer sous les glaciers.

On a reconnu, pour les quartzites et les roches très-dures, que leurs débris n'auraient pas pris la forme de cailloux parfaitement arrondis, forme qu'ils ont même dans le haut du bassin au-dessus de Bâle, s'ils n'avaient fait que descendre des montagnes, en frottant les uns contre les autres, dans un cours d'eau tel que le Rhin, et l'on est arrivé à conclure : ou bien que ces cailloux ont subi pendant l'époque diluvienne ou erratique des frottements plus violents que ceux qu'ils éprouvent dans le roulis actuel du fleuve, ou bien que ces mêmes cailloux avaient été préalablement arrondis dans des lacs ou dans la mer, à l'époque tertiaire, lorsqu'ils sont entrés en circulation dans les eaux courantes.

Action des glaciers.

H. 61. Si l'on admet une époque diluvienne, des courants plus violents que les cours d'eau actuels, et le transport de ces cailloux dans le sein des eaux, il faudra admettre en même temps que tous les galets provenant du Vogelberg par exemple, et transportés vers le bas de la vallée, soumis à la même cause, doivent offrir les mêmes formes après une certaine distance parcourue ; que les matériaux les plus tendres ont éprouvé des modifications plus sensibles que des quartzites ou des roches d'une certaine dureté. Mais, dans l'ob-

servation que je viens de citer on a répondu d'avance à cette supposition, en disant que les cailloux arrondis se rencontrent aussi bien dans le haut du bassin, au-dessus de Bâle, que dans la vallée au-dessous ; de mon côté j'ai ajouté qu'ils existent dans les bassins supérieurs, et ils y sont *associés à des galets anguleux*, à Hinter-Rhein, au point même où la moraine profonde disparaît sous la première accumulation de neige. Quant aux matériaux offrant moins de résistance, ils sont, comme les quartzites ou certains débris granitiques, tantôt anguleux, tantôt arrondis, ce qui prouve incontestablement qu'ils n'ont pas été roulés dans un courant dans le sein duquel une partie des matériaux charriés n'auraient pu être préservés des chocs et des frottements dont le surplus offre des traces évidentes.

Quant aux cailloux préalablement arrondis dans les lacs ou dans la mer, je répondrai, en passant, qu'on ne voit nulle part les lieux de dépôts de ces matériaux façonnés à l'avance, préparés spécialement pour l'époque diluvienne, et qui auraient pu dans les bassins supérieurs se mêler, dans chacune des localités traversées par les courants, à des galets anguleux, dont le nombre aurait graduellement diminué jusqu'à une certaine limite au delà de laquelle il ne se serait plus rencontré que des cailloux arrondis, limite qui n'existe dans aucune nappe de comblement. Enfin j'ajouterai que le procédé suivant lequel les cailloux, même les plus durs, s'arrondissent et se mêlent à des galets anguleux, n'est plus un mystère ; qu'il est parfaitement connu aujourd'hui, et qu'il suffit d'étudier pendant quelques instants le travail incessant d'un glacier pour le comprendre et pour en vérifier l'application.

A l'époque où l'on pensait que les limites de l'ancienne extension des glaciers étaient marquées par les premières moraines frontales, par les premiers blocs erratiques, on croyait que ces glaciers avaient pu se retirer, sinon subitement, du moins avec assez de rapidité pour fournir de grandes masses d'eau à l'action desquelles on attribuait la dispersion d'une partie des dépôts erratiques, le transport et l'arrangement des comblements.

Mais la conservation de certains barrages et des accumulations de sables et de menus graviers, les faibles dimensions des sections ouvertes dans ces barrages devaient bientôt faire comprendre com-

bien peu cette hypothèse est fondée. D'un autre côté des nappes régulières se retrouvant dans les intervalles des moraines frontales, et se prolongeant de l'amont à l'aval suivant le même plan, la même ligne de pente sous ces mêmes moraines qu'elles supportent, quelques géologues ont cru trouver une solution à la question, en attribuant à ces nappes une origine diluvienne, et en admettant qu'elles avaient été formées et réglées par des courants, *avant l'époque glaciaire*.

D'après les observatiens qui précèdent on ne saurait voir dans la nappe profonde de la vallée du Rhin un comblement diluvien postérieur ou antérieur à l'époque erratique: la régularité du dépôt dans les bassins à la sortie des gorges, la distribution des matériaux, le mélange des galets anguleux de cailloux arrondis ou polis, le prolongement de la nappe dans les vallées latérales, d'un côté à l'autre d'un obstacle, sans inflexion, sans renflement, accusent une autre origine; la conservation des moraines frontales anciennes superposées aux comblements prouve qu'ils n'ont pu se former en second lieu; enfin la présence du lehm ou de la boue glaciaire dans les comblements démontre encore qu'ils appartiennent à l'époque glaciaire et qu'ils n'ont pu la précéder.

Village-des-Bains. San-Giacomo. (Bernardin.) Nappe de comblement.

H. 62. Quand on descend du Bernardin, entre le village des Bains et San-Giacomo on rencontre un bassin de forme circulaire offrant une nappe de comblement d'une parfaite régularité, dont la surface est couverte par une prairie parsemée de quelques groupes d'arbrisseaux (pl. 18, fig. 1). A l'amont, le torrent de la Mæsa tombe, à la suite de plusieurs chutes, aux pieds des rochers escarpés bordant le cirque qu'il traverse dans un lit sinueux, où il coule lentement, pour reprendre ensuite sa course rapide et saccadée dans de nouveaux escarpements. — Sur la gauche, deux cônes de déjection, que la route doit franchir, viennent s'étaler sur la nappe qu'ils tendent chaque jour à envahir de plus en plus, et dont ils *recouvrent* partiellement *la surface*.

Les matériaux de la nappe proviennent de l'amont de la vallée, encombrée de dépôts erratiques au village même des Bains, et dont la présence et la conservation ne permet guère de supposer le passage d'un courant beaucoup plus puissant que le torrent actuel après la retraite de l'ancien glacier.

Si l'on voyait dans le comblement du bassin dominant San-Giacomo un dépôt diluvien, il faudrait dire qu'il est antérieur à l'envahissement de la vallée par le glacier du Bernardin, ou bien qu'il s'est formé pendant que ce glacier occupait les hauteurs voisines et plaçait ses moraines hors des atteintes du cours d'eau.

Dans tous les cas, un torrent débitant assez d'eau pour inonder le bassin, et pour charrier et régler dans toutes ses parties, au milieu et sur les rives, les matériaux transportés, devait tomber avec impétuosité, conserver pendant quelque temps une certaine énergie, puis ralentir graduellement sa marche sur une pente presque nulle et dans un passage subitement et considérablement élargi; conditions entièrement défavorables à la formation d'une nappe régulière composée indistinctement, dans toutes ses parties, de matériaux parmi lesquels aucun triage ne s'est opéré.

Action des courants d'eau.

H. 63. Les torrents latéraux, agissant en même temps, n'auraient-ils pas mêlé leurs alluvions à celles de la Mæsa et contribué à introduire dans le comblement de nouvelles imperfections et des mélanges dont il est entièrement dépourvu, sa masse ne renfermant que des matériaux provenant des massifs d'amont, tandis que les cônes latéraux étant exclusivement formés de déjections locales *reposant sur la nappe*, il y a séparation parfaitement tranchée entre ces divers dépôts? — La superposition des cônes sur le comblement, démontrant que l'action des cours d'eau secondaire n'a commencé à se produire et n'a pu s'étendre jusqu'à la surface de la nappe qu'après l'achèvement complet de celle-ci, on voit que, pendant tout le temps nécessaire pour l'accomplissement du transport de la masse centrale et principale, toutes les causes secondaires étaient sinon suspendues, du moins renfermées dans les limites au delà desquelles elles se sont ultérieurement exercées et qu'elles continuent à franchir aujourd'hui.

J'ai eu souvent occasion d'observer, dans de petits bassins, de quelle manière les alluvions se distribuent à la suite d'une chute d'eau tombant sur un plan légèrement incliné, et dans ces circonstances j'ai toujours remarqué des dispositions qu'on ne saurait comparer à celles du comblement dont il est question en ce moment.

Action de l'eau. Observation dans les Vosges, près d'Épinal.

Un canal d'une faible section, brusquement interrompu, ayant une chute d'environ 2 mètres de hauteur et un débit de quelques centaines de litres d'eau par seconde, a été récemment construit pour assurer l'irrigation d'une partie de la nappe de galets de la Moselle, près d'Épinal. L'eau, en tombant sur cette nappe, a creusé une cavité, un petit bassin circulaire, et a exécuté un déblai dont les matériaux ont été éparpillés à l'aval sous formes de bourrelets, de zones concentriques diminuant graduellement de hauteur à mesure qu'ils s'éloignent du centre du bassin. A partir du premier bourrelet formé des cailloux les plus gros, les zones circulaires offrent successivement des matériaux moins volumineux, des menus graviers purs ou mélangés de sables, enfin du sable pur. Et l'on remarque en outre, suivant la direction du courant qui se rétablit à la suite de la chute, que dans chaque bourrelet les matériaux les plus lourds occupent l'espace correspondant à la veine fluide.

Les eaux entraînant de temps à autre de l'amont des sables et des galets qu'elles rejettent dans le bassin, et le débit n'ayant rien de constant, l'arrangement des déjections et leur mélange éprouve des variations fréquentes, mais que le nombre des bourrelets augmente ou diminue, que ces bourrelets s'élèvent davantage ou qu'ils s'abaissent ; ils sont cependant toujours disposés dans le même ordre, l'action de l'eau, quelle que soit son énergie ou sa faiblesse, ne produisant jamais des effets différents, les formes des zones et le classement des matériaux offrent invariablement les mêmes caractères.

Cet exemple peut donner une idée des effets produits dans le cas où la Mæsa, énormément grossie, aurait exécuté ou réglé le comblement du bassin qu'elle traverse à l'amont de San-Giacomo : elle y aurait introduit les dispositions que représente le croquis (pl. 18, fig. 2) ; dans le même temps les déjections latérales se seraient *mêlées* au comblement principal, et l'on ne verrait pas aujourd'hui une nappe d'une régularité parfaite, un plan sur la surface duquel les torrents ont étalé leurs cônes, comme pour démontrer une fois de plus les différences essentielles qui existent entre les comblements alluviens et erratiques dont on a ici deux exemples frappants.

Moraines profondes.

II. 64. On considère généralement encore les moraines profondes comme des comblements exécutés par les eaux dans des lacs suc-

cessifs, occupant autrefois les divers étages des vallées et desséchés aujourd'hui. J'ai déjà fait remarquer combien ces atterrissements produits dans les lacs aux embouchures des cours d'eau diffèrent des nappes régulières dont il est question, et cependant il ne sera peut-être pas inutile d'ajouter quelques faits à l'appui de mes précédentes observations à cet égard.

Lac de Lungern.

En 1836, les habitants de Lungern (canton d'Unterwald), ayant ouvert un canal d'écoulement souterrain dans les rochers qui forment la digue de leur lac, et à la suite de cette opération le niveau des eaux de ce lac qui occupait tout le fond de la vallée s'étant abaissé d'environ 30 mètres[1], le tiers supérieur du bassin s'est trouvé desséché. Le terrain mis à découvert est une nappe de comblement parfaitement dressée suivant une ligne de pente très-faible, plongeant sous les eaux et que l'on retrouve aux pieds des escarpements du Brünig et des rochers formant un promontoire vers le haut du bassin (pl. 16).

Cette nappe, comme celle de San-Giacomo, se terminant brusquement contre les parois abruptes du cirque vers le Brünig, n'offre nullement de ce côté l'aspect d'une déjection torrentielle, tandis que le torrent qui coule dans la vallée partant des flancs du Wylerhorn et débouchant dans le bassin, vers la gauche, a exécuté un énorme remblai, l'ancien delta du lac, preuve évidente du concours des eaux dans le comblement partiel de ce lac.

Une section du village est bâtie sur cette déjection, tandis que le groupe principal des habitations est établi à droite sur un immense cône, dont la base ainsi que les flancs ont été attaqués et coupés par l'action des cours d'eau périodiques qui se jettent dans ce lac. — Ces diverses parties du comblement sont formées de matériaux offrant des traces de frottements, de sables et de galets anguleux ou arrondis, bruts ou polis, que l'on distingue parfaitement des fragments de roches arrachés aux flancs du Wylerhorn et charriés par le torrent, mêlés aux débris des déjections anciennes qui n'ont subi que quelques chocs insuffisants pour leur donner un poli même imparfait.

Le terrain étant mis à découvert aujourd'hui, on peut vérifier et constater facilement les caractères de chacun des dépôts, leurs re-

[1] **Ch. Martins.** *Bulletin de la Société géologique de France*, t. XIII, 1841-1842.

lations, leurs superpositions, et distinguer la nappe inférieure, les alluvions des cours d'eau et les remaniements anciens ou récents qu'ils ont opérés dans les accumulations erratiques. — Ainsi on voit la moraine profonde provenant de la vallée de l'Aar, composée de matériaux disséminés sans ordre dans toute sa masse et sur sa surface dressée et unie, savoir :

A l'amont un cône de déjection ancien *C*, composé principalement de matériaux erratiques, et contre lequel un cône moins puissant et plus incliné *B* vient se jeter; à droite le cône du village principal *B'* : déjections *reposant toutes sur la nappe profonde A A A.*

La moraine profonde est antérieure aux accumulations alluviennes, puisqu'elle en est recouverte. Le delta principal se compose des deux cônes d'amont dont nous avons parlé, qui n'ont commencé à se former qu'au moment où la nappe a été entièrement mise à découvert et s'est trouvée dégagée de la masse de glace sous l'influence de laquelle elle a acquis la régularité qu'elle offre encore dans toutes ses parties conservées.

Le grand cône d'amont et la faiblesse du torrent actuel prouvent que le glacier franchissant le Brünig et descendant dans le cirque du Wylerhorn a fourni une grande quantité de matériaux façonnés que le cours d'eau n'a pas amenés de loin, et qu'il a accumulés sur le front et à peu de distance de la tranche terminale de la dernière portion du glacier; puis, lorsque la totalité des glaces eut disparu, le torrent ne rencontrant plus les éléments de la moraine frontale pour continuer l'exhaussement du cône, a entamé ce dépôt et s'est creusé un lit qu'il n'a franchi à aucune époque, pour former ensuite, soit avec les déblais enlevés dans la coupure où il fixait son cours, soit avec les matériaux arrachés aux escarpements du Wylerhorn, un delta plus récent, moins incliné *B*, débordant les deux cônes et s'étalant comme eux sur la surface de la moraine profonde et sous les eaux du lac.

Les cônes que l'on voit sur la rive gauche, ainsi que ceux que le promontoire formé par des rochers à l'aval du village ne permet pas d'apercevoir, et celui sur lequel Lungern est bâti se sont formés aux dépens des moraines latérales; leur puissance indique bien plus l'importance de ces moraines que celle des cours d'eau, qui n'ont pu agir que successivement et à mesure de la retraite du glacier.

La moraine profonde du bassin de Lungern marque l'emplacement de la dernière section du glacier; elle se prolonge jusqu'au lac des Quatre-Cantons, et toujours dans les mêmes conditions. Ainsi quand on franchit le barrage du Kaiserstuhl, on la retrouve aux pieds des rochers escarpés fermant à l'amont le bassin de Sarnen : sur la gauche, deux immenses cônes, boisés en partie, s'étalent sur le comblement inférieur (pl. 17, fig. 2); la nappe n'éprouve aucune inflexion, soit à l'amont, soit à l'aval du village de Giswyl; bâti sur un mamelon qui se relève brusquement au-dessus de sa surface unie. Au-dessous de ce village un cône de déjection en activité, et sur lequel cependant on voit déjà quelques arbres, s'avance de plus en plus; et, comme toujours, les dépôts alluviens sont nettement séparés du comblement glaciaire.

Lac de Sarnen et lac de Lungern.

La coupe (fig. 3) de la même planche indique les relations des lacs de Sarnen et de Lungern, et la marche qu'aurait suivie un courant diluvien, sortant de ce dernier, pour se jeter dans le bassin inférieur au-dessous du Kaiserstuhl; la différence de niveau entre les deux lacs étant de 187 mètres, et du sommet des rochers *A* au point *B* d'environ 220 mètres, on devrait trouver au pied de cette chute des affouillements et des déjections proportionnés à la puissance du torrent supposé; et cependant on ne rencontre pas autre chose qu'un plan très-peu incliné, qui vient se terminer brusquement contre les parois escarpées des rochers; et cette nappe se retrouve au-dessous de Sarnen jusqu'au lac des Quatre-Cantons : on la voit dans tout le bassin de Stanz (pl. 17, fig. 1), aux pieds de la chaîne du Pilate et des proéminences bordant le lac, entre Lucerne et Winckel, quels que soient les obstacles, les relèvements des proéminences transversales, les enfoncements du sol submergé, *et constamment inférieure aux déjections alluviennes.*

Les dépôts de matériaux transportés dans le fond des vallées offrant des caractères tellement tranchés et opposés ne sont donc pas produits sous l'influence d'une seule et même cause, et la superposition des cônes sur les nappes prouve que les eaux n'ont commencé à agir et à opérer des transports qu'à partir du moment où les montagnes et les vallées se sont dépouillées de leur manteau de glaces.

Ce que l'on voit dans la vallée du Rhin n'est donc pas une dispo-

sition exceptionnelle propre à ce bassin exclusivement. Les mêmes faits, les mêmes relations s'observent dans toutes les vallées des contrées envahies autrefois par les glaciers ; les croquis joints à ce mémoire le démontreront, je l'espère, beaucoup mieux que les citations et les considérations que je viens de présenter et que je crois inutile de multiplier ou d'étendre davantage ; le point essentiel qu'il s'agissait d'établir, doit être maintenant un fait évident; la moraine profonde n'offre, dans aucun cas, les caractères des dépôts de transports dus à l'action des eaux : elle résulte d'une tout autre cause, et ces dépôts n'étant jamais inférieurs ou intercalés, sont nécessairement plus récents que la nappe qu'ils recouvrent ; l'action des eaux seules n'a donc commencé à se faire sentir qu'après l'achèvement complet des moraines ou nappes profondes de comblement; les relations constantes de ces nappes et des dépôts alluviens en fournissent en outre la preuve la plus formelle, et la conservation des moraines frontales et latérales prouve qu'autrefois comme aujourd'hui cette action ne s'est fait sentir que sur des points isolés, et qu'à aucune époque, soit pendant la retraite des glaciers, soit après leur disparition, les vallées n'ont été sillonnées par des courants diluviens qui auraient détruit la plupart des dépôts meubles, conservés intacts jusqu'à ce moment, et produit d'immenses déjections qu'on ne rencontre nulle part.

Je n'insisterai donc pas plus longtemps sur la nécessité de ranger ces divers dépôts dans des groupes entièrement distincts, puisqu'il n'est plus possible, si l'on veut tenir compte des faits, de conserver le moindre doute à cet égard : cependant, avant de commencer l'examen des divers dépôts erratiques que l'on rencontre dans la vallée du Rhin-postérieur, je dois dire encore quelques mots de certaines dispositions remarquables de la moraine profonde, et rechercher s'il est possible de la considérer comme une ruine d'un comblement plus considérable exécuté par des courants diluviens.

On a vu que la moraine profonde conserve toute sa régularité à l'amont et à l'aval des obstacles qui se relèvent au-dessus de la surface, et nous allons la retrouver divisée en plusieurs étages, près du confluent des deux branches principales du Rhin (pl. 9 et 10).

Terrain erratique. H. 65. Le village de Bonaduz est situé sur un plateau partant des montagnes de la rive gauche du Rhin-postérieur et barrant presque

entièrement la vallée. La surface de ce plateau, élevé d'environ 70 mètres au-dessus du Rhin, parfaitement dressée et horizontale, est recouverte par la moraine profonde qui se retrouve à l'amont et à l'aval, aux pieds des rochers constituant ce barrage, à 2 ou 3 mètres au-dessus du niveau du cours d'eau. Sur ce même plateau on remarque plusieurs monticules de sables et de galets évidemment superposés à la nappe et dont je parlerai plus tard.

Le défilé ouvert entre le barrage et les montagnes bordant la rive droite n'étant pas assez large pour que le glacier pût s'y loger en totalité, le plateau a été envahi et recouvert par la glace et par la moraine profonde aussi bien que le fond du bassin en amont, en aval et latéralement dans la gorge; les traces de l'action glaciaire s'observent de chaque côté beaucoup plus haut que le niveau de Bonaduz.

Le comblement sur le plateau et celui de la vallée sont absolument identiques.

Le comblement sur le plateau et celui de la vallée sont absolument identiques, et les formes des matériaux, leur arrangement, le nivellement des surfaces font voir qu'ils font partie d'un même dépôt, et qu'ils résultent d'un même travail exécuté sous l'influence de la même cause[1].

Nappe de Bonaduz.

La nappe de Bonaduz est parfaitement horizontale: sa surface étant à la cote 672 mètres au-dessus du niveau de la mer, et le comblement à l'entrée de la Via-Mala près de Tusis, étant à la cote 678 mètres, la pente entre ces deux points sur 14 kilomètres est de $0^{m},0044$.

Si cette nappe élevée de 70 mètres au-dessus du plan incliné, partant de Tusis et venant se terminer à l'amont, au pied de l'escarpement terminal du plateau, n'est pas un étage de ce plan reporté partiellement au-dessus d'un obstacle, il faudra supposer qu'il y a eu sur ce point un soulèvement partiel, ou que le comblement primitif remplissait la totalité du bassin d'amont, jusqu'à la hauteur de Bonaduz.

[1] D. A. Les comblements sur les plateaux, les comblements dans les vallées hautes, les comblements dans les vallées basses sont absolument identiques, et les formes des matériaux, leur arrangement, le nivellement des surfaces font voir qu'ils font partie d'un même dépôt et qu'ils résultent d'un même travail exécuté sous l'influence de la même cause. *Les auteurs de ces causes, ce sont les glaciers passés et présents.* Dans les Alpes, dans les Vosges, dans la Forêt-Noire, dans le Jura, dans les Pyrénées, dans les Sierra Guadarrama, Morena et Nevada; en Angleterre, en Écosse, en Irlande j'ai trouvé la confirmation de cette grande vérité fondamentale glaciaire.

Mais le cordon latéral des dépôts erratiques reliés à la nappe et aux mamelons coniques de ce plateau, n'offrant ni interruption ni dislocation dans leur ligne de pente générale, on reconnaît immédiatement l'impossibilité de s'arrêter sérieusement à l'hypothèse de ce soulèvement local, et il ne reste à examiner que l'idée du comblement complet, morcelé ensuite par les eaux.

Pour atteindre le plateau, il faudrait que le Rhin s'élevât à 70 mètres au-dessus de son niveau actuel et qu'il fournît une quantité d'eau suffisante pour inonder tout le bassin; admettons cependant qu'à une époque quelconque il était dans ces conditions et que, malgré son volume et sa rapidité, ce courant diluvien n'ait transporté sur le sommet du contrefort, barrant son cours et dans tout le bassin d'amont, que des sables et des menus matériaux ; le comblement exécuté alors, et au moment de la puissance maximum des eaux, aurait donc été ensuite morcelé et détruit par un courant plus faible, et se réduisant graduellement jusqu'aux proportions qu'il conserve aujourd'hui.

On comprend que le Rhin, passant sur un terrain aussi peu résistant, se soit creusé un canal d'écoulement suivant la pente naturelle de la vallée entre Tusis et le point où il se jette dans le Rhin-antérieur. La différence du niveau entre ces deux points étant de 75 mètres, cette pente est pour 17 kilomètres, de $0^{m},0044$, et c'est en même temps celle du comblement d'amont.

Mais entre Tusis et Bonaduz on rechercherait inutilement les traces de ce canal dont les berges contre le plateau devraient avoir 70 mètres de hauteur ; et nous ne voyons aujourd'hui qu'une nappe parfaitement dressée paraissant parfaitement horizontale, et qui, latéralement, marque aux pieds des flancs des montagnes bordant le bassin une ligne sensiblement de niveau, interrompue çà et là par les déjections torrentielles qui s'étalent sur la surface et forment des cônes plus ou moins puissants ; des terrasses indiquant des réductions successives dans le volume des eaux n'existent nulle part, et les érosions de la nappe profonde se remarquent exclusivement dans le lit même du Rhin, ou sur les parties du comblement qu'il a touchées à diverses époques, entre des limites parfaitement marquées et au delà desquelles il ne s'est jamais porté depuis l'achèvement de cette nappe ; mais sur la nappe du plateau du Bonaduz, il

n'existe pas la moindre coupure longitudinale révélant le passage d'un courant à une époque quelconque, et sa parfaite conservation aussi bien que la présence des cônes sableux prouvent que le Rhin n'a jamais franchi la crête de l'escarpement qu'elle domine.

Tusis. Nappe de comblement.

Un déblai de 70 mètres de hauteur se terminant à zéro, à Tusis, sur 15 kilomètres de longueur et sur une largeur moyenne de 1 kilomètre, aurait fourni plus de cinq cents millions de mètres cubes de matériaux qui, transportés au delà du défilé formant goulot d'écoulement, auraient certainement constitué un cône, une déjection alluvienne dans le bassin d'aval, où l'on retrouve encore et toujours la nappe régulière, le plan incliné, sans ondulations transversales ou longitudinales et se raccordant à la nappe du Rhin antérieur (pl. 10, fig. 1).

Si cette nappe d'ailleurs n'était qu'une portion d'un comblement alluvien autrefois plus puissant, on y retrouverait les caractères indiquant l'action des eaux; mais faut-il le répéter encore, les matériaux y sont distribués sans ordre; on n'y remarque aucunes traces d'anciens bancs de sables ou de galets imbriqués arrangés et lavés par des courants, aucune traînée de blocs plus volumineux marquant la direction de la veine fluide; c'est une accumulation de débris entraînés lentement, successivement, composant un dépôt soumis à une forte pression, et différant, sous tous les rapports, des remblais exécutés par des cours d'eau violents ou calmes, et ayant subi dans leur régime des variations plus ou moins fréquentes.

Dans le cas d'un comblement exécuté par les eaux, des matériaux rejetés par le Rhin et par le Schein se seraient accumulés au confluent de ces deux courants au pied du promontoire terminal des montagnes de l'Oberhalbstein; et l'on retrouverait à ce point une terrasse alluvienne indiquant la hauteur de l'ancien dépôt, corrodé et balayé jusqu'au niveau de la surface actuelle de la nappe dans la direction des deux cours d'eau, et se raccordant à des terrasses latérales laissées sur les deux rives de la vallée, dispositions représentées par le croquis (pl. 10, fig. 7), et entièrement contraires à celles du terrain (fig. 6 et pl. 11, fig. 1).

Ce que l'on observe dans tous les bassins, fait voir que les profils des sections faites par un cours d'eau, dans un comblement, ne sont jamais réglés, comme l'indique la coupe (fig. 6) de la pl. 18,

par terrasses successives, parallèles, mais que ces profils sont toujours irréguliers et semblables à ceux de la même planche (fig. 4 et 5).

Lorsqu'un glacier a occupé toute la largeur du bassin, les moraines latérales sont rejetées sur le flanc des montagnes (pl. 10, fig. 8), tandis qu'elles forment des terrasses latérales bordant la nappe profonde chaque fois que la retraite s'est opérée en même temps sur le front et sur les côtés (même planche, fig. 9, pl. 12 et 13 etc.).

Moraines frontales à l'amont de Coire (Grisons).

H. 66. Les premières traces des moraines frontales marquant les premiers temps d'arrêt de l'ancien glacier du Rhin paraissent à l'amont de Coire; ce sont des cônes composés de sables et de graviers, relevés au-dessus de la nappe profonde formant la base sur laquelle ils sont établis; leur élévation est d'environ 8 à 10 mètres (pl. 19, fig. 5).

Sur la rive droite, une terrasse un peu plus élevée s'applique contre le flanc des montagnes et borde le bassin; elle a été coupée sur plusieurs points par des cours d'eau qui ont anciennement formé avec les débris enlevés à cette terrasse des cônes de déjection cultivés aujourd'hui, et dont la base décrit une courbe de niveau à la surface de la moraine profonde sur laquelle ils s'étalent.

Feldberg.

A Feldberg, à droite et à gauche du Rhin, on voit deux nouveaux cônes probablement réunis autrefois et séparés par suite d'érosions exécutées par le fleuve. L'inclinaison de leurs talus est de 35 degrés, et à la partie supérieure du cône de la rive gauche, les sables et les galets agglutinés forment une sorte de nagelfluhe (fig. 4).

A l'amont, un cône de déjection torrentiel, en partie boisé, et sur lequel le village est construit, vient se jeter jusqu'au Rhin; les eaux en corrodent la base et y exécutent des affouillements qui permettent d'observer la structure intérieure du dépôt et de reconnaître qu'elle diffère essentiellement de celle des deux cônes, composés de menus matériaux entassés sans ordre.

Ems.

Diverses proéminences coniques se relèvent à Ems au-dessus de la surface de la nappe, mais elles sont formées par des roches en place qui semblent usées et imparfaitement polies à l'amont, sous un revêtement de sables et de galets rappelant parfaitement les *moraines par obstacles* des vallées des Vosges. L'église de Tamins

est bâtie sur un monticule de même forme et de même composition, et partiellement recouvert aussi de sables et de galets. Sur la rive droite, un cordon latéral de ces matériaux mêlés de blocs plus volumineux borde la moraine profonde (fig. 1 et 2).

Plateau de Bonaduz.

Enfin sur le plateau de Bonaduz on voit les monticules coniques, au nombre de 8, dont j'ai déjà parlé ; l'élévation de ceux-ci varie de 15 à 35 mètres.

Avant d'arriver à ce plateau, on observe à Reichenau le même dépôt latéral qu'à Tamins, mais vers le confluent des deux Rhins, le cordon latéral et le dépôt de terrain rapporté sur la pointe et contre les flancs de la montagne (*Abschwung*) séparant les deux vallées, est principalement composé de sables, de menus galets et de boue: il est entamé sur la droite par le Rhin postérieur, tandis que le cordon de la rive gauche, placé hors de ses atteintes, domine la nappe profonde au-dessus de laquelle il forme une terrasse élevée ayant un talus fort escarpé. — Sur cette rive, et vers la partie supérieure on remarque diverses couches, une sorte de stratification, indices de l'action de l'eau ; puis, à mesure que l'on s'éloigne de la pointe de l'éperon en montant vers Bonaduz, ces couches disparaissent, l'amas devient confus, la grosseur des matériaux augmente, puis des blocs s'observent dans son intérieur et finalement à sa surface.

Ces cônes, ces terrasses latérales et la nappe profonde appartiennent à un ou à plusieurs dépôts ; ce sont ou les restes d'un comblement autrefois plus puissant, et dans lequel le Rhin aurait creusé un large canal d'écoulement, ou des accumulations dues à l'action d'un ancien glacier, à peine dégradées par les eaux et conservées dans l'ordre qui leur a été primitivement imprimé, ou bien enfin des déjections alluviennes et erratiques produites dans les mêmes lieux par deux causes différentes, agissant soit simultanément, soit successivement.

En admettant un comblement complet comprenant la nappe, les cônes et les cordons latéraux, il faudrait bien admettre aussi que les torrents latéraux exécutaient des transports en même temps que le cours d'eau principal, et que si toutes les déjections réunies dans un même bassin ont constitué une masse dont les cônes sont les témoins, les flancs des montagnes étaient entièrement dépouillés de

matériaux meubles à la fin de l'opération du comblement, et au moment où les courants, ne trouvant plus rien à transporter, ont commencé à creuser leurs canaux d'écoulement; et dans ce cas on devrait rencontrer, sur les parties mises à sec du fond de l'ancien lit principal, des déjections de matériaux provenant d'éboulements ou d'une destruction plus récente des masses minérales, différant autant par leurs formes que par leur nature *du dépôt alluvien*, dans lequel, on le sait, il se retrouve, sur un point quelconque, non des débris *de la localité*, mais des matériaux provenant *de l'amont, de tous les points de la vallée principale aussi bien que de tous ses affluents.*

Je n'ai pas vu, dans la vallée du Rhin postérieur, un seul cône de déjection composé *exclusivement* de matériaux arrachés aux masses minérales exposées à l'action des torrents: dans tous il y a mélange de galets et de blocs, provenant des localités d'amont, arrondis et polis, ou anguleux et partiellement frottés. On comprend qu'un torrent attaquant *un dépôt alluvien* y trouve les matériaux d'amont et puisse les mélanger à ceux qu'il reçoit de son cirque de réception; mais ce que l'on ne comprend pas, c'est l'absence de ces derniers dans les cordons latéraux, et la présence exclusive des galets provenant du haut de la vallée dans certaines accumulations barrant des vallées secondaires, que des torrents ne sillonnent pas, et dans lesquelles cependant des courants diluviens auraient dû pénétrer.

La masse des cônes de déjection ne donne pas toujours la mesure exacte de la force des torrents qui les ont produits, et il arrive souvent qu'un filet d'eau coule sur un cône immense, tandis qu'à l'issue du goulot d'un torrent impétueux on remarque à peine quelques débris disséminés. Ce fait n'aurait rien d'extraordinaire, s'il s'agissait de vallées creusées dans des masses minérales différentes et offrant une résistance variable à l'action des agents destructeurs. Mais dans un même bassin, dans un même cirque, dans un massif de roches d'une composition uniforme, dans des conditions absolument identiques, cette observation a certainement une valeur incontestable, et démontre que si, dans tous les cas, on ne s'est pas trompé sur les véritables causes d'un fait géologique, on a presque toujours considérablement exagéré la force de ses causes.

Vallée du Rhin. Ainsi, dans la vallée du Rhin, le fleuve dans certains passages exerce inutilement son action sur des rochers qui résistent à tous

ses efforts, dont il use lentement la surface, mais qu'il ne parviendrait pas à entamer quand même sa puissance se trouverait énormément augmentée. Et tout près de là, un ruisseau qui lui fournit un mince filet d'eau a produit d'immenses déjections, composées de débris arrondis et polis de ces mêmes rochers, matériaux portant des traces évidentes, irrécusables d'une action puissante et longtemps prolongée, et qu'un trajet de quelques centaines de mètres, dans le goulot d'écoulement, ne leur eût pas permis d'acquérir.

La cause la plus faible aurait donc produit les effets les plus grands, et les résultats de l'action des courants seraient en raison inverse de leur puissance : le temps, la distance du parcours ne seraient plus des conditions essentielles, pour que des galets puissent acquérir ces formes arrondies, ce poli que l'on considérait comme les preuves d'un transport dans le sein des eaux à de grandes distances, de chocs et de frottements subis pendant longtemps, puisque des matériaux les plus durs, arrondis et polis, se retrouvent indistinctement dans toutes les parties du bassin, à l'extrémité inférieure de la vallée, dans les vallons secondaires et *aux sources mêmes* des cours d'eau qui sillonnent ces cavités ; matériaux remaniés sur certains points par les eaux, mais que les courants ont trouvés sur place, transportés et façonnés par un agent qu'on ne saurait méconnaître, et qui a laissé sur tous les terrains qu'il a touchés des traces qui en révèlent la nature.

Si la nappe et les cordons latéraux ont fait à une époque quelconque partie d'un même massif, ceux-ci, à un point donné de la vallée, devraient offrir la même structure que la nappe ; et cependant leurs matériaux sont généralement plus volumineux, et le nombre des blocs anguleux y est plus considérable. A Tamins, par Tamins
exemple, le cordon latéral est un amas de sables, de galets et de blocs de diverses formes, tandis que la nappe inférieure n'offre que des sables et de petits galets. A Bonaduz, la nappe et les cônes sont entièrement dépourvus de ces blocs que l'on observe dans le cordon latéral et à sa surface, et cependant les débris les plus gros auraient nécessairement été distribués suivant l'axe du courant, et à partir de la fin de la Via-Mala jusqu'à Bonaduz, la vitesse du courant diminuant graduellement en raison de l'élargissement du bassin et à l'approche du confluent, le nombre et le volume des blocs auraient graduellement diminué aussi.

Les cônes de Coire, de Feldberg et du plateau de Bonaduz ne sont ni des témoins de l'ancienne puissance des dépôts, ni des îles ou bancs graveleux formés dans le lit de l'ancien fleuve; leurs formes, les inclinaisons de leurs talus, l'absence de couches de galets imbriqués ne permettent pas de les comparer aux proéminences que l'on observe dans le lit même du Rhin, au-dessous de Bâle, ayant à l'amont *des pentes très-douces généralement inférieures à un degré*, et se terminant en aval par des talus rapides de 25 à 35 degrés.

Les cônes dont il est question ont à l'amont, à l'aval et latéralement, à droite et à gauche, 30 ou 35 degrés d'inclinaison; ils diffèrent donc essentiellement, et sous tous les rapports, des bancs alluviens. Ainsi un cône de 34 mètres d'élévation avec un degré de pente à l'amont aurait, entre le pied de la verticale passant par son sommet et son origine, 1948 mètres de longueur de base, et au lieu de la disposition représentée (pl. 10, fig. 4), sa coupe offrirait celle de la fig. 5, même planche, s'il s'était formé sous l'influence d'un cours d'eau.

En admettant à l'amont du plateau un comblement complet jusqu'à la cote 672, et une lame d'eau seulement de 34 mètres à Bonaduz, le Rhin aurait eu dans ces conditions une vitesse de 5,75 et un débit de 195,500 mètres cubes par seconde; on comprendrait jusqu'à un certain point que des bancs de sables se soient formés dans son lit; mais le fond de ce lit étant composé de sables et de menus graviers, n'aurait pu résister, il eût été entamé et la roche inférieure eût été mise à nu; les eaux ne pouvant dépasser une vitesse moindre, soit de 0,305 à 0,609 sans attaquer un fond de cette nature, les sables du terrain fertile de Banaduz auraient été rejetés à l'aval. On y verrait dans tous les cas des sillons longitudinaux, que cette nappe horizontale n'offre nulle part et qui existent sur toutes les parties du comblement que le Rhin touche ou a pu toucher à une époque quelconque. En jetant les yeux sur le profil (pl. 10, fig. 1 et 3), on voit que le comblement suit une ligne de pente continue du confluent des deux Rhins jusqu'à la Via-Mala, et que la nappe, soit à l'amont, soit à l'aval du plateau, est d'une parfaite régularité; or on ne voit pas de quelle manière le déblai du dépôt se serait fait sur 69 à 70 mètres mesurés du niveau de la surface de ce plateau, ou sur plus de 100 mètres mesurés du sommet du cône

le plus élevé ; le Rhin s'étant abaissé au-dessous de la cote 672, après avoir partiellement creusé son lit, n'avait plus d'autre passage que le défilé bordé par les rochers escarpés de l'éperon du Bonaduz, et il devait y acquérir une vitesse plus grande, la section de son lit en cet endroit étant beaucoup plus faible qu'à l'amont. A la sortie de ce défilé il est très-probable qu'il aurait exécuté des remblais latéralement, plutôt que de corroder le comblement à une assez forte distance sur la gauche, où l'on retrouve la nappe profonde régulière et nivelée.

Action des glaciers et action des courants d'eau. Bonaduz et Tusis.

II. 67. Veut-on maintenant admettre que la nappe de comblement à l'amont, à l'aval et sur le sommet du plateau est telle que le Rhin l'a établie, et que le comblement n'a pas rempli toute la profondeur de la cavité supérieure entre Bonaduz et Tusis? Examinons ce qu'eussent été la vitesse et le débit du courant. La pente de la nappe étant de 0,0044, la section moyenne de la vallée, en supposant un cours d'eau passant à la cote 706, c'est-à-dire ayant 104 mètres de profondeur dans le bassin d'amont, serait de 104000, le périmètre mouillé de 1208. Dans ces conditions, la vitesse serait de 30 mètres par seconde, et le débit, dans le même temps, de 3,224,000 mètres cubes[1]. Avec une telle vitesse le plateau eût inévitablement été balayé, et l'on n'y retrouverait aujourd'hui pas plus de traces de la nappe que des cônes. — Ces cônes ne sont pas des proéminences provenant d'un remaniement de la nappe, des renflements de ses matériaux produits par le mouvement d'un courant dans le lit d'un fleuve ; ils reposent sur cette nappe et se relèvent brusquement au-dessus d'un plan régulier sur lequel ils ont été déposés par un agent qui, en exécutant ces remblais, maintenait et préservait leur base ; et l'on trouve des exemples de faits analogues dans la région des glaciers actuels.

Moraines frontales.

Rarement une *moraine frontale* entoure complétement le front d'un glacier et forme au pied du talus terminal un cordon continu d'une égale puissance.

Moraines superficielle.

Les *moraines superficielles* étant inégalement réparties à la surface de la glace et offrant sur divers points des lacunes ou des accumu-

[1] Par minute, de 193,440,000 mètres cubes; par heure, de 11,606,400,000 mètres cubes; par jour, de 278,553,600,000 mètres cubes, soit une lame d'eau de 1 mètre de hauteur sur 27,855,360 hectares par 24 heures.

lations plus considérables de débris, les déjections frontales forment des groupes irréguliers, des remblais mamelonnés et souvent des buttes coniques réunies à leur base ou entièrement séparées et isolées, et dans le cas où il y a abondance de boue glaciaire, de sables ou de menus graviers fortement imprégnés d'eau, ces matières forment des espèces de coulées que les filets d'eau sortant du glacier délaient encore et entraînent, tandis que les sables mêlés à des galets et à des blocs demeurent en place et constituent des mamelons coniques. Aux glaciers de l'Ober-Aar, de Viesch, de Zmutt, du Rhône on voit de nombreux exemples de ces dispositions. En amont de ce dernier, les anciennes moraines offrent plusieurs cônes isolés, résultant soit de l'inégalité des déjections, soit de l'action des eaux dont le cours se déplace incessamment et qui sillonnent la nappe profonde en diverses directions.

Moraine frontale du Rhône.

La fig. 6, pl. 19, représente l'un de ces cônes de la deuxième moraine frontale du Rhône. En 1848, les eaux qui s'écoulent en partie par la coupure *A* se jetaient dans le courant principal, en amont, et l'espace compris entre les deux tronçons de la moraine était à sec. Aujourd'hui elles ont de nouveau pris cette direction et elles tendent à réduire la longueur du mamelon *B*. Au pied du talus terminal il y a un grand nombre de petits cônes qui seront réunis en une ceinture circulaire ou séparés suivant le nombre et le régime des ruisseaux sortant du glacier.

L'action de ces ruisseaux est marquée sur la surface de la momoraine profonde ; leur passage est indiqué par des canaux peu profonds, mais comme la nappe n'est jamais entièrement recouverte par les eaux, son nivellement général ne subit aucune altération, et il demeure dans son ensemble tel que le glacier l'a exécuté. Ces petits canaux sont ordinairement comblés par des sables entraînés et déposés quand la vitesse des eaux diminue et quand elles vont se retirer. Aussi, à l'exception du lit principal du Rhône creusé plus profondément, la moraine n'offre-t-elle que quelques dégradations à peine sensibles.

Des canaux semblables ont nécessairement existé sur le plateau du Bonaduz, mais sur un terrain meuble et cultivé ils ont dû facilement et promptement disparaître. Toutefois une partie des eaux de fonte, les seules qui aient touché ce terrain élevé, que jamais le Rhin

n'a pu atteindre, ont été dérivées *transversalement* vers la coupure terminale du plateau, et elles ont produit dans la nappe des excavations encore visibles aujourd'hui, en avant et en arrière du mamelon sur lequel s'élève le château de Razuns ; leur direction normale à l'axe longitudinal de la vallée est donc en sens contraire de celle qu'elles affecteraient si leur production était une conséquence du passage du fleuve sur le sommet de ce promontoire.

Le dépôt latéral, à l'amont de Reichenau, sur la rive gauche et sur la pointe, ainsi que sur les flancs du promontoire (*Abschwung*) qui vient se terminer au confluent des deux vallées du Rhin, est, comme je l'ai indiqué, principalement composé de sables, de menus galets et de boue, tandis que la moraine latérale droite, au-dessous de Reichenau, renferme des galets et des blocs assez volumineux ; si l'on suppose que la vitesse du Rhin postérieur se soit ralentie à l'approche d'un courant plus puissant vers le confluent, et que des matériaux se soient arrêtés sur ce point, on devrait rencontrer d'abord les blocs, puis les galets et les menus matériaux, successivement ; et c'est précisément le contraire que l'on observe, et cette distribution inverse ne s'explique plus dans l'hypothèse d'une inondation.

Mais en comparant ce fait à ceux qui se produisent journellement sur les rives des glaciers en activité, on comprend beaucoup plus facilement comment les choses se sont passées.

Au pied du promontoire, et sur la rive droite, en face, il y avait nécessairement deux petits lacs glaciaires ; nécessairement, puisque l'on observe dans ces dépôts des couches plus ou moins régulières indiquant le concours de l'eau. Les sables, les galets et la boue du glacier rejetés dans ces petits bassins ont pris cette disposition stratiforme que les remblais rejetés hors des atteintes des eaux n'affectent pas. Le dépôt de l'éperon est ensuite recouvert de blocs vers l'amont et les couches disparaissent ; sur la rive droite, les matériaux de la moraine latérale, sans doute assez éloignés de la rive, ne pouvaient tomber dans le bassin et ne parvenaient à cette rive qu'après avoir contourné, pendant quelque temps, l'angle saillant du terrain opposé à l'éperon.

Glacier de l'Aar.

Le glacier de l'Aar offre l'exemple de dispositions analogues. Les moraines latérales du Lauter-Aar et du Finster-Aar viennent se

joindre à quelque distance de l'Abschwung, au pied duquel se trouve[1] un petit lac dans lequel les sables, la boue et les menus graviers tombent incessamment: les blocs, vers l'aval, sont entraînés hors de la direction de cet enfoncement; mais latéralement, et avant la jonction des deux moraines, les blocs touchant les parois des rochers se déposeraient à l'amont sur le dépôt stratifié, si le glacier venait à se diminuer ou à subir une forte ablation.

Petit lac temporaire de l'Abschwung.

Sous le pavillon, à gauche, on voit un petit lac dans lequel les graviers et la boue s'accumulent; tandis que les blocs assez peu nombreux, transportés sur cette rive, sont rejetés au pied du promontoire et au delà, mais ne parviennent pas dans l'anse reculée occupée par le glacier.

Petit lac à la base du Pavillon.

Vers le milieu de la Via-Mala on rencontre, dans un élargissement de la vallée, le village de Rongella, bâti sur le côté gauche d'une moraine frontale interrompue par la coupure profonde au fond de laquelle coule le Rhin. Sur la rive droite, les rochers coupés à pic sont couronnés par la contre-partie de cette moraine, couverte partiellement par une forêt de sapins, et sur le flanc de laquelle une large échancrure permet d'examiner la nature du dépôt. C'est une accumulation de sables, de galets et de blocs amoncelés sans ordre.

Via-Mala. Rongella.

On voit clairement ici combien l'hypothèse d'une inondation générale de la vallée est inadmissible. Le dépot de transport, dont je n'ai pu mesurer exactement la puissance, s'élève approximativement à 100 mètres au-dessus des bords de la coupure. — Il est bien évident que si les eaux du Rhin en avaient jamais touché la base, tout cet amas, suspendu en quelque sorte sur un abîme, eût été ruiné et entraîné dans la plaine de Tusis; les blocs les plus volumineux seuls auraient pu s'arrêter et s'accumuler dans le fond de la crevasse, mais les sables et les galets eussent été immédiatement enlevés par un torrent d'une centaine de mètres de hauteur et ayant une effrayante rapidité, dans un goulot d'écoulement ouvert suivant une pente aussi forte que celle de la Via-Mala.

Avec une hauteur d'eau de 200 mètres, et en prenant pour le chiffre de la pente moyenne la différence de niveau du lit du Rhin,

Pigneu et Tusis.

[1] D. A. Se trouve dans certaines années.

entre Pigneu et Tusis, sur 10 kilomètres, soit 272 mètres, et en supposant cette pente uniforme, sans les nombreux redans qu'elle offre en réalité, et qui sont autant de causes d'accélération dans l'écoulement, on aurait à la hauteur des moraines de Rongella une vitesse de 40m,08 par seconde, et dans le même temps un débit de 400,800 mètres cubes. Ce volume d'eau serait encore insuffisant dans le cas d'une inondation à la hauteur des cônes de Bonaduz, si le Rhin devait fournir environ la moitié des eaux, et pour un débit de 3,224,000 mètres cubes à ce dernier point il faudrait encore l'augmenter pour satisfaire à cette condition; mais que ce débit soit ou non trop faible, c'est une partie du problème que je n'ai pas besoin de discuter; ce qu'il importait de constater, c'était la vitesse de l'eau, et ce chiffre de 40 mètres par seconde démontre à lui seul l'impossibilité d'un comblement de menus matériaux dans une gorge contre des parois abruptes, et sur la crête de rochers formant un étroit gradin précisément à l'amont d'un étranglement de la vallée.

Les cours d'eau sont à peu près aujourd'hui ce qu'ils étaient anciennement, toutes les augmentations qu'ils ont éprouvées autrefois dans leur volume pourraient être assez approximativement évaluées, en tenant compte des surfaces et de l'ablation des glaciers. Les coupures faites dans les moraines profondes indiquent les sections des plus hautes eaux dans toutes les localités, et, dans la vallée du Rhin supérieur, les sections des canaux d'écoulements anciens et actuels n'offrent pas de bien grandes différences.

Le volume de ce fleuve a diminué graduellement à mesure de la retraite de l'ancien glacier; mais, même à l'époque où il avait toute la force que pouvaient lui procurer les eaux provenant de la fonte de la surface de glace d'amont, il n'a jamais franchi les limites marquées par les terrasses de la moraine profonde, demeurée intacte hors de ses atteintes, et nulle part on n'aperçoit de traces d'inondation ou de crues extraordinaires. Ainsi, avec 2 ou 3 mètres de surélévation il serait venu battre en brèche les moraines latérales de l'Abschwung et de la rive droite, et il aurait renversé et étalé, sur la nappe profonde, les débris de ces dépôts qui n'offriraient pas la moindre résistance à un courant ayant même une vitesse moins grande que celle du Rhin près de son confluent. Et l'on

a vu ce qu'eût été cette vitesse si les eaux, à un moment quelconque, avaient pu s'élever au sommet du plateau de Bonaduz et à la hauteur des moraines de Rongella.

Zillis.

En continuant à remonter la Via-Mala, on aperçoit divers lambeaux de moraines latérales et des accumulations de blocs erratiques. Le village de Zillis est bâti sur une moraine latérale et frontale; le dépôt erratique se développe dans une anse que forme la vallée sur la rive gauche, et, à partir de ce point, les blocs deviennent successivement plus nombreux et plus volumineux.

Comblement du bassin d'Andeer (Via-Mala).

H. 68. Un peu plus haut on parvient au bassin d'Andeer où la vallée s'élargit, et dont le fond, à peine incliné, offre de nouveau une nappe profonde parfaitement réglée (pl. 12, fig. 1).

Si l'on examine le terrain depuis ce village, dont l'église est bâtie sur un mamelon de rochers faisant saillie au-dessus de la surface de la nappe, on aperçoit, vers la sortie de la Via-Mala, les moraines frontales et latérales situées à l'aval de Pigneu; sur la gauche, une

Moraine frontale. Cône de déjection.

immense moraine frontale, sur un étage de laquelle se trouve une chapelle; puis enfin à droite, le village de Pigneu établi sur un *énorme cône de déjection*, formé de matériaux enlevés par les eaux à la moraine latérale droite.

Sur l'arête supérieure de ce cône, le torrent, après l'achèvement du remblai, ne trouvant plus de matériaux erratiques à transporter, s'est ouvert un lit qu'il tend à creuser, et dont il attaque incessamment les berges; les produits de ces érosions, rejetés vers le Rhin, constituent une *nouvelle déjection conique* très-déprimée.

Les bases du cône principal et des moraines attaquées par le Rhin présentent des coupures que les eaux tendent à augmenter, mais qui, on peut le constater, résultent évidemment de l'action actuelle du Rhin variant dans des limites fort resserrées.

La surface de la moraine profonde est peu élevée au-dessus du niveau des eaux, et l'ouverture pratiquée dans les moraines frontales n'a qu'une très-faible largeur; il suffirait donc d'une crue de 1 à 2 mètres pour donner lieu à des érosions considérables et dans la nappe et dans les dépôts erratiques fermant presque entièrement la vallée, et situés à l'entrée de la gorge au sommet d'une pente très-inclinée.

On peut se rendre compte des effets qu'aurait produits un courant

diluvien parcourant le bassin d'Andeer et rencontrant des amas de sables, de galets et de blocs qui n'offrent aucune résistance à l'action du cours d'eau actuel ; ce que celui-ci exécute sur une petite échelle eût été pratiqué en grand, et les accumulations, simplement corrodées à leur base en ce moment, eussent été entièrement culbutées et détruites. Le courant diluvien, dont on aurait besoin pour expliquer les formations du bas de la vallée, n'aurait pu couler dans le bassin d'Andeer sans laisser des traces visibles de son passage, et ces traces n'existent pas ; il faudrait donc admettre qu'il a parcouru la contrée avant l'époque de la formation de ces dépôts, témoins irrécusables de l'action glaciaire, et qui prouvent en outre que, depuis leur distribution sur ce point, le Rhin n'a pas subi de crues extraordinaires ; dans ce cas il faudrait déterminer l'époque et les causes de l'apparition de ce courant, problème dont je crois devoir me dispenser de rechercher la solution, les faits qu'il s'agissait de constater étant parfaitement établis, et les dispositions du terrain démontrant clairement :

1° Que le régime du Rhin n'a pas été modifié ; que les augmentations causées dans son volume par la fonte de la glace n'ont pas été assez sensibles pour les porter hors des limites du canal d'écoulement creusé dans la moraine profonde ; que les résultats de son action ancienne et actuelle se réduisent à quelques érosions des dépôts qu'il touche ;

2° Que les accumulations des matériaux transportés, placés latéralement et transversalement, à l'amont de la gorge, n'ont été exécutés ni touchés par un courant plus considérable qui les aurait entraînés dans la Via-Mala ;

3° Que les dépôts erratiques comprennent une moraine profonde, des moraines latérales et frontales entièrement différentes des déjections alluviennes représentées ici par le cône de Pigneu, moraine latérale remaniée après la retraite du glacier, puisque le cône recouvre la moraine profonde.

D'Andeer à Bærenburg.

La route que l'on suit en quittant Andeer pour se rendre au village de Bærenburg, monte d'abord sur la moraine latérale droite, puis sur les flancs d'une proéminence granitique bordant transversalement la vallée et sur laquelle ce village est placé (pl. 12, fig. 2).

Le glacier a dû franchir cet obstacle, offrant à l'amont des surfaces mamelonnées et polies sur lesquelles des blocs erratiques sont éparpillés; à l'aval les traces de frottements disparaissent, mais au pied des rochers commence la moraine profonde formant une nappe interrompue par le passage du Rhin, se prolongeant jusqu'à la base des montagnes de la rive gauche et se raccordant au plan incliné du fond du bassin d'Andeer (pl. 12, fig. 3).

La coupure ouverte dans la nappe se termine par un talus régulier de plusieurs mètres de hauteur, rappelant sur une petite échelle les terrasses bordant le Rhin entre Bâle et Neuf-Brisach : l'espace *D E* est le canal d'écoulement de l'époque glaciaire; aujourd'hui le Rhin n'occupe plus que l'emplacement *C D*, dont il n'est plus sorti depuis la retraite du glacier, le terrain *C E* parsemé de blocs étant gazonné ainsi que les talus des terrasses. La présence de ces blocs, dont quelques-uns n'ont que de faibles dimensions, fait voir en outre que le Rhin, à l'époque glaciaire, n'avait pas une grande énergie, puisqu'il n'a déplacé que des sables et des galets, et qu'il a laissé à la surface du terrain qu'il recouvrait des blocs qu'un torrent eût facilement déplacés. Cependant la masse principale des eaux était réunie sur ce point situé à la sortie d'un défilé profond et étroit; les débris erratiques abandonnés sur les rochers du Bærenburg en sont une preuve.

Roches polies et striées.

H. 69. Après avoir franchi les proéminences du Bærenburg, on parvient au défilé de la Rofla, à l'entrée duquel on trouve, à quelques mètres au-dessus du niveau du Rhin, et sur le bord même de la route, des rochers en place polis et striés, traces incontestables du passage de l'ancien glacier; la vallée étant extrêmement resserrée en cet endroit, une crue de quelques mètres aurait amené les eaux au niveau des stries, et elles eussent certainement été exposées à l'action du courant, si le bassin d'Andeer avait été inondé au niveau des petites terrasses de la moraine profonde seulement; la conservation du poli et des stries prouve donc que l'action diluvienne serait antérieure à l'époque d'extension des glaciers, et j'ai déjà eu occasion de faire remarquer que rien dans le bassin inférieur n'y révèle le passage soit antérieurement, soit postérieurement, de courants plus puissants que les cours d'eau actuels grossis par les eaux d'ablation.

Vers le milieu du défilé on rencontre un élargissement du bassin et un comblement régulier, à la surface duquel des blocs sont éparpillés ; à droite un cône de déjection peu incliné formé aux dépens d'une moraine latérale et composé de blocs façonnés et arrondis mêlés de sables, dont la présence sur les bords du Rhin ne permet pas de supposer une débâcle diluvienne.

Bassin de Suvers.

Quand on a quitté cette gorge, qui se resserre de nouveau pendant quelque temps à l'amont de ce dernier point, on parvient au bassin de Suvers. Ce village est bâti sur la moraine latérale gauche relevée au-dessus de la nappe profonde parallèlement au cordon latéral de la rive droite (pl. 13) ; en outre une partie du village est assis sur un des deux cônes placés sur la moraine, séparés par une large coupure à la sortie du goulot d'écoulement d'un torrent. Ces cônes fortement inclinés ont leurs sommets appuyés contre les parois du bassin principal ; leurs arêtes supérieures sont des lignes de pente régulière marquant le raccordement légèrement arrondi de talus opposés ayant une inclinaison moyenne de 35 degrés, qui se réduit vers la base, formant une courbe de raccordement à la surface de la moraine supportant ces dépôts.

Ces cônes sont les moraines latérales d'un petit glacier qui, sorti de la gorge où il était renfermé, s'est avancé sur le dépôt erratique de Suvers[1] ; la coupure ouverte dans ce dernier et dans l'axe du goulot, au point de jonction des plans inclinés intérieurs des deux cônes, indique la force ancienne et actuelle du torrent, et fait voir qu'il n'y a pas eu ici de déjection, et que le cours d'eau n'a produit que des érosions et quelques transports de menus matériaux jusque dans le lit du Rhin.

A l'aval du village, *un cône de déjection étalé sur la moraine latérale* est formé de matériaux erratiques d'un étage supérieur et de l'époque d'une certaine extension ; la présence de cet amas pourrait faire supposer que les deux autres cônes dont il est question ne sont que les ruines d'un amas plus considérable exécuté autrefois par le torrent ; mais on comprend bien vite l'impossibilité de s'arrêter à cette hypothèse, si l'on considère les formes et la disposition des talus ; surtout quand on voit les sommets de ces cônes situés

[1] J'ai indiqué ailleurs les dispositions analogues de moraines latérales anciennes et actuelles.

chose près, de chaque côté du bassin. Cette disposition, citée comme une preuve de la continuité ancienne de ces cordons, marquant la hauteur d'un comblement complet dans lequel un large canal d'écoulement a été creusé par les eaux, est un fait qui s'explique sans qu'il soit nécessaire de recourir à des hypothèses et dont nous avons un bel exemple dans le terrain erratique ancien de la vallée de la Moselle, entre Remiremont et la moraine frontale de Longuet; il se remarque en outre dans certaines moraines terminales de la même localité, et il est la conséquence d'un retrait graduel et régulier sur le front et sur les rives de la masse de glace[1].

Conclusions. H. 71. Dans les divers dépôts que je viens d'examiner on ne trouve aucune trace d'un comblement diluvien antérieur ou postérieur à l'époque glaciaire; la conservation des moraines latérales et des amas de sables et de graviers, barrant presque entièrement certains passages resserrés, ne permet pas d'admettre que les glaciers se soient subitement retirés, en produisant des courants diluviens.

Les traces irrécusables de leur présence sur des points éloignés de la région qu'ils occupent aujourd'hui, les blocs erratiques, les moraines, les galets et les roches striées sont des preuves de leur ancienne extension. Au nombre de ces témoins laissés sur le sol, j'ai cru devoir, ainsi que je l'ai exposé, ranger les *nappes de comblement* en leur donnant la qualification de moraines profondes. La production de ces nappes, supportant les moraines frontales et latérales, ne saurait évidemment être rapportée à une époque plus récente; déjà j'ai eu occasion de le faire remarquer à diverses reprises[2], et je compléterai prochainement mes observations à cet égard sur les formations erratiques.

Il ne reste plus que l'hypothèse d'un diluvium antérieur à l'époque glaciaire, et dont les nappes de comblement indiqueraient les effets et fourniraient la preuve; mais, on l'a déjà vu, pour résoudre le problème et démontrer l'existence d'une formation diluvienne, de la source du Rhin à Bingen par exemple, il faudrait non-seulement recourir à des hypothèses, mais encore rechercher des preuves matérielles qui ne sauraient être fournies.

[1] *Terrain erratique des Vosges* (pl. 14).

[2] *Terrain erratique des Vosges, du Haut-Valais, de la vallée de Hasle etc.*

Que l'on admette la production à un moment donné des courants parcourant les vallées, sans chercher même à en deviner la cause, sans s'arrêter à la difficulté d'en expliquer l'alimentation, on n'aura encore imaginé que la cause, et il faudra examiner, quelle que soit sa durée et sa puissance, si elle a pu produire les effets qu'on se plaît à lui attribuer.

Les cailloux, les blocs et les galets offrent des formes qu'il semblait autrefois impossible d'attribuer à une autre cause que l'eau. En parcourant un trajet plus ou moins long dans un courant, les débris des masses minérales avaient dû subir des chocs et des frottements, à la suite desquels les uns avaient été réduits en sable, les autres avaient perdu leurs angles et s'étaient arrondis et polis. Et ces cailloux, ainsi façonnés, étaient les indices certains et caractéristiques des dépôts diluviens.

Mais on sait aujourd'hui que des cailloux arrondis et polis se trouvent dans les moraines anciennes et actuelles, aussi bien que dans les nappes de comblement. Et nous voyons dans ces dernières ces cailloux *associés non-seulement à des débris anguleux* à surfaces brutes ou portant à peine quelques traces de frottements, mais encore au lehm, *à la boue glaciaire*, qui n'a pu précéder les glaciers, *ces derniers ayant seuls la faculté de la produire.*

Les cailloux du comblement de la plaine d'Alsace ont parcouru, en franchissant les lacs qui s'opposaient à leur passage, un long trajet que cependant on ne croit pas encore assez considérable pour que les cailloux de quartz et des roches les plus dures se soient arrondis et polis en roulant des sommités des Alpes jusqu'aux extrémités de la nappe. On pense que préalablement ils ont dû subir une préparation dans les eaux de grands lacs ou dans la mer avant le commencement de l'époque quaternaire; de quelle façon et en quels lieux ce travail se serait-il exécuté? c'est ce que l'on ne dit pas.

Les galets *anguleux* n'auraient donc pas été soumis à la même influence, ils auraient été ajoutés ensuite, au moment de la débâcle, et ils auraient *roulé*, sans s'émousser, sans s'arrondir, sans éprouver des chocs et des frottements, dont rien cependant ne pouvait les préserver pendant leur longue course sur un terrain accidenté. Mais à la source même du Rhin, dans le premier comblement, à quel

dépôt le torrent aurait-il enlevé ces cailloux arrondis à l'avance, dans quel écart de la vallée une mer inconnue aurait-elle entassé ces matériaux préparés et réservés pour le diluvium?

Les glaciers usent, arrondissent et polissent sur place les débris des rochers, quelle que soit leur résistance et leur dureté. Ils les rejettent dans les moraines frontales et latérales, et les enfouissent dans les moraines profondes, en les mélangeant à des sables de trituration, à des galets ébauchés ou anguleux, généralement enduits de boue glaciaire; et cet enduit nous fait voir que les éléments de ces nappes pénétrées par les eaux du glacier n'ont été ni lavés ni charriés par des courants.

Ce travail incessant des glaciers peut être facilement étudié, vérifié et suivi: dans ses détails, dans son ensemble, dans toutes ses phases on reconnaît la série non interrompue des faits que j'ai signalés en donnant cette esquisse incomplète des dépôts erratiques de la vallée du Rhin; les effets produits au contact de la glace sont identiques à ceux qui, à une époque reculée, se produisaient sur les terrains situés en dehors de la région actuelle des glaciers en activité. Si les mêmes effets dérivent de la même cause, les rapprochements que j'ai établis sont nécessairement vrais, et mes conclusions sont exactes.

Enfin, en m'arrêtant aux faits et aux conséquences qui peuvent s'en déduire, je terminerai en donnant le tableau des divisions que l'on observe dans les terrains superficiels de la vallée du Rhin postérieur, absolument dans le même ordre que dans toutes les autres vallées de la Suisse, où l'on voit, savoir:

1° Des formations inférieures ou plus anciennes, ou terrain *erratiques* ancien et actuel, comprenant:

a) Les moraines profondes (nappes de comblement);

b) Les moraines frontales;

c) Les moraines latérales, dont le niveau s'est abaissé graduellement des sommités vers le fond des vallées, à mesure de la retraite et de l'abaissement de la surface des glaciers;

d) Cônes d'éboulement glaciaire, moraines latérales et frontales des glaciers secondaires, parvenant jusqu'au glacier principal ou suspendus sur les flancs des montagnes.

2° Des dépôts alluviens (anciens et actuels) dus à l'action des eaux, supérieurs aux dépôts erratiques, et dont la production a eu lieu à mesure de la retraite des glaciers sur les terrains successivement dépouillés de leur manteau de glace, savoir :

a) Les cônes de déjection des terrains formés exclusivement par les débris remaniés des dépôts erratiques ;

b) Cônes de déjection formés de débris provenant de dépôts erratiques et de la destruction des masses minérales des bassins de réception ;

c) Cônes de déjection uniquement dus à l'action des torrents, sans mélange de matériaux erratiques.

Ces divers cônes sont anciens, récents ou actuels, toujours superposés aux dépôts erratiques, et étalés dans les vallées à la surface des moraines profondes ;

d) Enfin les remaniements, les déplacements exécutés par les eaux courantes, des matériaux appartenant à ces diverses formations, dans les lits ou sur les rives des cours d'eau ; les dépôts tourbeux anciens ou actuels.

Le 25 novembre 1850. H. HOGARD.

H. 72. **Post-scriptum.** J'ai conservé pendant bien des années, sans les publier, les observations qui précèdent, persuadé qu'une inévitable réforme de la *Théorie diluvienne* les rendrait inutiles ou superflues. Phénomènes erratiques en général.

Mais divers mémoires publiés, récemment encore, sur les dépôts de comblement, m'ont fait comprendre la nécessité de revenir de nouveau sur une question qui depuis longtemps aurait reçu une solution définitive, si les géologues, abandonnant le champ des hypothèses, avaient pris le parti de revenir à l'étude des faits et des causes, *en se dégageant enfin de la fatale influence des idées préconçues.*

La théorie diluvienne, il faut cependant bien le reconnaître, est d'une élasticité extrême, et son application à tous les phénomènes si compliqués des formations superficielles est d'une simplicité telle qu'elle a dû avoir autrefois, et qu'elle doit conserver aujourd'hui, de fervents partisans.

Tous les dépôts superficiels, les comblements, les revêtements des flancs des montagnes et des plateaux élevés, les anciennes moraines et les blocs erratiques, étaient, il n'y a pas encore bien longtemps, des preuves de l'action des courants, calmes ou violents, qui, à partir de la fin de l'époque tertiaire, avaient parcouru les vallées et sillonné les montagnes.

Mais à partir de 1834, lorsque, pour la première fois, **M. de Charpentier** vint annoncer aux naturalistes Suisses, réunis à Lucerne, qu'après vingt années de recherches et d'études il avait reconnu les traces et les preuves de l'ancienne extension des glaciers, en dehors de l'enceinte des hautes Alpes, et malgré l'opposition que devait provoquer cette déclaration inattendue, on a dû cesser de comprendre dans les dépôts diluviens les blocs erratiques, les anciennes moraines et une partie des comblements des hautes vallées ; et les géologues, amenés à reconnaître l'évidence des faits et des preuves, ont commencé à considérer ces dépôts superficiels comme des formations *d'origine exclusivement glaciaire.*

Les terrains diluviens, considérablement réduits, ne devaient plus provisoirement comprendre que les nappes de comblement des vallées inférieures, en dehors des limites arbitrairement fixées aux contrées envahies autrefois par les anciens glaciers.

La formation de ces comblements inférieurs semblait alors s'expliquer naturellement : la plus grande partie des montagnes des Alpes ayant été recouverte [1] par de puissants amas de glace et de neige, on pouvait supposer qu'au moment où les glaciers s'étaient retirés vers les contrées où ils sont confinés aujourd'hui, les cours d'eau, énormément grossis par suite d'une fonte subite, possible ou impossible, avaient entraîné et déposé au loin les matériaux, sables, galets et blocs, probablement préparés à l'avance par les glaciers et entassés à leurs pieds.

Alors le *diluvium* était considéré comme un phénomène *post-glaciaire*, et, par conséquent, *supérieur* aux formations erratiques.

Mais bientôt la nécessité de modifier cette théorie si simple se fit impérieusement sentir : la parfaite conservation des moraines fron-

[1] D. A. A une certaine époque, où la puissance et l'étendue des glaciers allait en diminuant et qui n'était nullement le temps de leur plus grande extension.

tales, les dimensions restreintes des sections des cours d'eau qu'elles ferment, bordent ou retiennent, ne permettaient plus d'admettre une fonte subite des glaces. D'un autre côté, les comblements des hautes vallées et ceux des bassins inférieurs n'offrant entre eux aucune différence appréciable, il fallait bien reconnaître qu'ils appartiennent à un même ordre de dépôts. Et enfin, attendu qu'ils se lient intimement les uns aux autres, et qu'ils *sont recouverts* par les *anciennes moraines*, par les *nappes de blocs éparpillés*, par les *cônes de déjection* des torrents de l'époque glaciaire et actuelle, on ne pouvait plus songer à les séparer et surtout à les placer dans l'échelle géologique *au-dessus du terrain erratique*. Aussi, tout en conservant la qualification de dépôts diluviens, ils furent rangés immédiatement dans les formations inférieures, en perdant tout simplement la dénomination de *post-erratiques*, pour prendre celle d'*anté-erratiques*.

La disparition et la fonte subite des anciens glaciers n'étant pas admissibles et cessant d'être nécessaires, puisqu'il s'agissait dorénavant d'un phénomène *antérieur*, on a admis d'un commun accord qu'ils s'étaient lentement et graduellement retirés jusque dans les limites de leur domaine actuel.

Mais il restait à expliquer le transport des immenses dépôts diluviens jusqu'aux extrémités des grandes vallées sortant des Alpes et suivant tant de directions diverses : et sans délai, sans nouvelles recherches on s'est hâté de mettre *sous les moraines*, ce qu'on avait d'abord mis *dessus* et de donner la théorie suivante :

Avant l'époque glaciaire, à un moment quelconque, les montagnes et les plaines ont été sillonnées et envahies par *des courants diluviens*.

Ces courants, tantôt calmes, tantôt violents, faibles ou puissants, suivant les besoins, ont comblé les bassins inférieurs, ont appliqué sur les flancs des montagnes ou étalé sur les plateaux élevés des revêtements composés de sables, de galets et de détritus qui n'avaient pas la propriété de tomber ou de descendre dans le fond des bassins.

Dans les Alpes, par exemple, des courants énormément puissants coulaient au nord, au sud, à l'est, à l'ouest et dans toutes les directions intermédiaires pour combler les bassins du Rhin, du Rhône,

du Pô etc..... Ces courants s'élevaient au-dessus du fond des vallées, de 10, 20, 50, 100, 400, 500, 600 mètres et plus : ils n'agissaient pas continuellement avec la même violence : leurs cours pouvaient subir des intermittences et se trouver même preque entièrement suspendus. Ainsi, après le comblement des bassins inférieurs ils se sont ralentis pour opérer les revêtements étalés sur les flancs des montagnes, sur les plateaux, et ils avaient un régime tellement exceptionnel et contraire à toutes les lois connues de nos jours, *que leurs vitesses pouvaient diminuer à mesure qu'ils s'élevaient davantage et que le volume de leurs eaux augmentait.*

Puis, à un certain moment leur concours étant devenu inutile, ils se sont abaissés et réduits ; les transports lointains ont cessé, et des courants, sortant des chaînes latérales, se sont produits *tout à coup*, pour recouvrir les comblements alpins de formations locales, par exemple de débris entraînés des Vosges sur la rive gauche du comblement du Rhin, et de la Forêt-Noire, sur la rive droite.

Enfin, ces comblements inférieurs, *le diluvium, renfermant des galets et des blocs anguleux, polis et striés, recouvrant des roches polies et striées, offrant dans toutes leurs masses, et de bas en haut, comme élément constitutif, du lehm ou boue provenant de la trituration des roches par les glaciers, seraient cependant, à ce qu'on assure, des dépôts antérieurs aux dépôts erratiques ou glaciaires.*

Si cette théorie est vraie, elle fera seule son chemin, et quoi qu'on puisse dire, les démonstrations ne sauraient faire défaut : et ce sont ces démonstrations dont nous avons besoin pour nous décider à reconnaître et avouer hautement que *des dépôts renfermant des galets striés, des matériaux que les glaciers seuls ont la propriété de façonner, ont cependant pu se former quand ces glaciers n'existaient pas encore à la surface de la terre.*

Peut-être alors admettrons-nous encore, ce qui serait tout aussi vraisemblable, que la formation des galets alpins, débris incontestables des roches des Alpes, *a précédé* et non suivi celle de ces roches, dont cependant ils proviennent sans aucun doute.

1er décembre 1858. H. HOGARD.

TABLE ET EXPLICATION DES PLANCHES[1].

Planche 1re. — Terrain erratique du bassin du Rhin.

Fig. 1. Coupe de Sultz à Grisheim.
Fig. 2. Coupe de Bellingen à Thann.
Fig. 3. Coupe de Bâle au ballon de Saint-Maurice.
Fig. 4. Juxtaposition des comblements de la Byrse et du Rhin.
Fig. 5. Superposition des comblements de la Wiese et du Rhin.
Fig. 6. Coupe entre l'Ochsenfeld et le Petit-Kembs : relations des comblements du Rhin et des Vosges.

Planche 2.

Fig. 1. Vue de la vallée du Rhin, près de Bellingen.
Fig. 2. Proéminences, bancs et îles du lit du Rhin, à la hauteur de Bellingen.
Fig. 3. Coupe du lit du Rhin.
Fig. 4. Coupe du comblement du Rhin, entre Schlierbach et le Petit-Kembs.
Fig. 5. Terrasses étagées *imaginaires* produites dans les comblements par suite de réductions successives des courants diluviens.
Fig. 6. Nappe de comblement au débouché de la vallée de la Thur, entre Thann et Cernay.
Fig. 7. Coupe et profil longitudinal de cette nappe.
Fig. 8, 9 et 10. Coupes transversales prises à Thann, au Vieux-Thann et à Cernay.
Fig. 11. Disposition qu'aurait prise ce comblement s'il s'était produit sous l'influence de torrents ou de courants diluviens.
Fig. 12 et 13. Coupes des bancs de graviers à galets imbriqués, observés dans le lit du Rhin.
Fig. 14. Coupe du lit du Rhin et des bancs de gravier dans les environs d'Istein.
Fig. 15. Coupe d'une portion de la nappe de comblement du Rhin, dans les environs de Mulhouse.
Fig. 16 à 22. Galets erratiques enduits de lehm, disséminés dans cette nappe.
Fig. 23 à 31. Galets du comblement du Rhin.

Planche 3. — Coupe de l'ancien glacier et du comblement de la Moselle, prise à la hauteur de Châtel (Vosges).

Planche 4. — Dépôts erratiques de la Meuse.

Fig. 1. Coupe d'un dépôt erratique latéral, observé dans la vallée du Mouzon.
Fig. 2. Vue de l'éperon de Villars, *A*, au confluent des vallées du Bany et du Mouzon.
Fig. 3. Coupe passant par le sommet *A* de cet éperon recouvert par un dépôt erratique.
Fig. 4. Croquis des rochers de Saint-Mihiel.
Fig. 5 et 6. Sillons et karren de l'époque glaciaire, que l'on remarque sur ces rochers.
Fig. 7. Coupe prise suivant la vallée de la Moselle, entre Igney et Toul, et prolongée transversalement de la Moselle à la Meuse.

[1] D. A. Ces planches sont reproduites dans l'Atlas de nos *Matériaux pour l'étude des glaciers*.

Planche 5. — Moraine profonde du glacier de l'Aar.

Fig. 1. Coupe prise au premier pont de l'Aar, à l'amont du Grimsel (Aar-Boden).

Fig. 2. Rocher moutonné et poli à l'amont, et à surface écailleuse latéralement, *au-dessus* et *au-dessous* du niveau de la nappe de comblement, près des Huttes, de l'Aar-Boden.

Fig. 3. Rochers à arêtes non émoussées, bordant le lit de l'Aar.

Fig. 4. Rochers anguleux, moraines et blocs à la sortie du défilé de l'Aar, à l'amont de Im-Grund.

Fig. 5. Coupe longitudinale de la vallée de l'Aar, entre le glacier actuel et l'ancienne moraine frontale fermant le défilé à l'aval de Rœderischboden.

Fig. 6. Nappe de comblement et grand cône de Meyringen.

Planche 6. — Comblement et moraines de l'Allée-Blanche.

Fig. 1. Relations des comblements alpins des Vosges et de la Forêt-Noire.

Fig. 2. Coupe *imaginaire* des dépôts superficiels de l'Allée-Blanche, *donnée* par **M. E. Collomb.**

Fig. 3. Coupe indiquant les relations *réelles* de ces dépôts.

Planche 7. — Comblement et moraines du bassin du Pô.

Fig. 1, 2 et 3. Cônes de déjection, superposés au dépôt de comblement.

Fig. 4. Coupe de la colline de Turin à Avigliana; moraines de Rivoli; blocs et comblement erratique.

Fig. 5. Moraines de Rivoli, au débouché de la Doire, vues d'amont.

Fig. 6 et 7. Dispositions qu'offrirait le comblement, sous les anciennes moraines, s'il s'était produit antérieurement et avant l'époque glaciaire.

Fig. 8. Moraines de Rivoli et cône de déjection de la Stura, vus de la colline de Turin.

Fig. 9 et 10. Coupes du comblement entre Avigliana et Turin, entre Turin et Lanzo, et indication des pentes et des relèvements qu'offrirait un *dépôt diluvien*.

Fig. 11. Coupe du comblement entre les vallées de la Bormida et du Tanaro et le Lac-Majeur (anciennes moraines d'Oleggio).

Fig. 12, 13 et 14. Cours du Pô et *relèvements alluviens* de son lit.

Fig. 15. Coupe d'Ivrée à la colline de Turin, par le lac de Candia et les anciennes moraines situées au débouché de la Dora Baltea (moraine d'Ivrée).

Planches 8. — Dépôts erratiques de la vallée du Rhin postérieur.

Fig. 1. Nappe profonde de la Linth à Benken.

Fig. 2 et 3. Plan et coupe de cette nappe à l'amont et à l'aval de la proéminence bornant partiellement la vallée entre Maseldrang et Benken.

Planche 9. — Plateau de Bonaduz vu d'amont en sortant de Rasuns: nappe et cônes erratiques (le Rhin coule dans la coupure au pied des rochers sur lesquels est bâti le château de Rasuns, indiqué sur la droite du croquis).

Planche 10.

Fig. 1. Coupe du plateau de Bonaduz suivant l'axe de la vallée :

A A. Moraine profonde.

B B. Moraines latérales.

B'. Blocs erratiques.

C C. Cônes erratiques; reste d'une moraine frontale.

D. Cône de déjection (moraine latérale remaniée par un torrent).

Fig. 2. Croquis du mamelon et du plateau de Bonaduz, vus d'amont.

Fig. 3. Coupe de Tusis au confluent des deux Rhins, par ce plateau.

Fig. 4. Coupe du cône le plus élevé.

Fig. 5. Forme présumée d'un cône de même hauteur établi dans le lit d'un courant, d'après l'observation des bancs alluviens du lit actuel du Rhin.

Fig. 6. Croquis du bassin au confluent du Rhin et du Scheim sous la Via-Mala et Tusis.

Fig. 7. Dispositions que devrait offrir le comblement dans le cas où il aurait été primitivement plus puissant; les cours d'eau actuels seraient encaissés dans des canaux bordés de terrasses.

Fig. 8. Relations du comblement inférieur *A* et des moraines latérales *B B* sur les points où le glacier occupait toute la largeur de la vallée.

Fig. 9. Relations des mêmes dépôts quand le glacier ne recouvrait plus entièrement la moraine profonde. Dans ce cas les moraines latérales *B B* constituent ce que l'on nomme les *terrasses parallèles*, considérées comme les restes *d'alluvions plus considérables*, et dans la masse desquelles des canaux d'écoulement à fonds plats auraient été creusés, après l'achèvement du comblement général des bassins, au moment où la force et le volume des courants diluviens diminuaient graduellement.

Planche 11.

Fig. 1. Nappe profonde régulière à la sortie de la Via-Mala recouverte par un cône de déjection d'un vallon latéral à Tusis.

Fig. 2. Moraine frontale dans un élargissement de la Via-Mala à Rongella; le Rhin coule au fond de la coupure ouverte dans les rochers que recouvre ce dépôt erratique.

Planche 12.

Fig. 1. Moraine profonde, moraines latérales et frontales et cône de déjection de Pigneu, bassin d'Andeer.

Fig. 2. Bœrenburg, amont d'Andeer, moraine profonde formant des terrasses indiquant les anciennes limites du Rhin; à gauche, la route est établie sur la moraine latérale (rive droite).

Fig. 3. Coupe du mamelon de Bœrenburg; surfaces polies et blocs erratiques à l'amont; au pied à l'aval, coupe de la moraine profonde et de la section de l'ancien lit du Rhin.

Planche 13. — Moraine latérale gauche du glacier du Rhin à Suvers: de chaque côté de la gorge, située à l'amont du village, on voit les moraines d'un ancien glacier latéral.

Planche 14. — Hinter-Rhein: au fond, moraine frontale; à gauche, la moraine latérale conservée et recouverte de cônes, débris remaniés de dépôts erratiques du flanc supérieur de la vallée; à droite divers cônes s'étayent sur la moraine profonde; la moraine latérale démantelée se retrouve en lambeaux sur quelques repos du terrain, qui est très-accidenté de ce côté.

Planche 15.

Fig. 1. Cône erratique; près du pont inférieur de Hinter-Rhein, à la suite d'une coupure creusée dans ce dépôt par un faible ruisseau périodique, on voit un petit cône de déjection formé par les eaux.

Fig. 2. Fin de la nappe profonde du Rhin à quelque distance en avant du glacier. Cône de déjection formé par les eaux à l'origine de cette nappe.

Planche 16. — Lungern : A A. Moraine profonde. B B. Cônes ou moraines latérales remaniées par les eaux. C. Cône de déjection ancien du Wylerhorn (ancien delta du lac). D. Cône de déjection actuel à l'issue de la coupure ouverte par le torrent dans le cône C.

Planche 17.

Fig 1. Moraine profonde et cône de déjection entre le Brünig et Lucerne; à Lungern, à Sarnen, dans le val de Stantz et au pied de la chaîne du Pilate.

Fig. 2. Relations des mêmes dépôts à l'amont du lac de Sarnen.

Fig. 3. Coupe entre les lacs de Lungern et de Sarnen.

Planche 18.

Fig. 1. Cirque entre Saint-Bernardin et San-Giacomo, moraine profonde recouverte par les cônes de déjection de deux torrents.

Fig 2. Aspect de ce cirque dans le cas d'un comblement exécuté par les eaux de la Mœsa.

Fig. 3. Plan d'une portion du cours du Rhin dans les environs de Coire.

Fig. 4. Coupe transversale, suivant la ligne *A B* du plan (fig. 3). *C C*, nappe profonde dans laquelle le lit du fleuve est creusé.

d. d. Ilots, ou bancs de sables et de graviers formés et remaniés par les eaux.

Fig. 5. Même coupe sur laquelle on a indiqué en x, x, des dépôts limoneux.

Fig. 6. Coupe imaginaire du même terrain, offrant des terrasses parallèles, marquant les retraites successives des eaux, conformément à la théorie diluvienne et d'après plusieurs auteurs, mais qu'on ne rencontre dans aucune des vallées connues jusqu'ici.

Planche 19 et dernière.

Fig. 1. Coupe du terrain erratique de Tamins.

Fig. 2. La vallée du Rhin à Ems. Rochers coniques faisant saillie à la surface nivelée de la moraine profonde et recouverts de sables, de galets et de blocs erratiques.

Fig. 3. Coupe, suivant l'axe de la vallée, d'une de ces buttes coniques de rochers.

Fig. 4. Moraine profonde *A A* près du village de Feldberg bâti sur un cône de déjection *B* d'un torrent; *C C*, deux cônes graveleux, restes d'une ancienne moraine frontale.

Fig. 5. *C C*, cônes de Coire, semblables à ceux de Feldberg et de Bonaduz: *A A*, moraine profonde: *B*, moraine latérale : *d*, cône de déjection ancien, formé des débris de la moraine latérale.

Fig. 6. Cône, ou portion séparée de la moraine frontale du glacier du Rhône par les eaux sortant de ce glacier.

H. HOGARD, 1858.

FIN DU TROISIÈME VOLUME.

TABLE DES MATIÈRES.

PHÉNOMÈNES ERRATIQUES.

De Charpentier (paragraphes C.).

C. **Phénomènes erratiques dans les Alpes**. . . . . 1 à 59

Transport des blocs erratiques par les glaciers. — **J. P. Peraudin**, 1815. — **Venetz**, 1829. — **De Charpentier**, 1834. — **Agassiz**, 1837. — **Playfair**, 1815. — **Gœthe**, 1829. — Définition du terrain erratique. — Dénomination. — Différence entre le terrain erratique et les terrains diluviens et alluviens. — Nature des roches qui composent le terrain erratique. — Forme des fragments erratiques. — Les blocs arrondis et frottés sont plus communs que les autres.

C. **Volume des fragments erratiques**. — Bloc monstre, 4900 mètres cubes. — Pierre-du-Trésor, 3400 mètres cubes. — Bloc de Steinhof, 2080 mètres cubes. — Pierre-des-Marmettes, 2027 mètres cubes. — Blocs de 200 à 1800 mètres cubes. — Pierre-Bessa, 1428 mètres cubes. — Pierre-à-Bot, 1370 mètres cubes. — Pierre-de-Millet, 427 mètres cubes. — Pierre-Vielle, 400 mètres cubes. — Pierre-de-Cordy, 130 mètres cubes. — Blaustein, 8360 mètres cubes.

C. **Disposition du terrain erratique.** — Absence de triage selon le volume. — Dépôts éparpillés. — Dépôts accumulés. — Moraines multiples. — Moraines bandes ou écharpes. — Moraines sous forme de monticules isolés. — Dépôts stratifiés. — Rouvines. — Pyramides ou cylindres de débris (pilastres erratiques). — Groupes de blocs formés de la même espèce de roche. — Bande de blocs, près Monthey, venant des montagnes de la vallée de Ferret (massif du Mont-Blanc). — Pierre-des-Marmettes. — Tous ces blocs ont la surface raboteuse, les angles et les arêtes légèrement écornés. — Pierre-à-Mourguets. — Pierre-à-Dzo. — Blocs erratiques de Monthey (Valais). — Bloc-Monstre. — Pierra-Bessa. — Pierre-du-Trésor. — Pierre-du-Trésor, 887m,5 au-dessus du sol de la vallée de Ferret. — Blocs de Montagny, près Lutry (canton de Vaud). — Les dépôts des roches formés d'une seule espèce sont toujours mieux conservés que ceux que forment des roches d'espèces diverses. — Position singulière de plusieurs blocs erratiques. — Pierre-à-Bot. — Pierra-Bessa. — Bloc près Sion. — Bloc près d'Orsières. — Pierre de la Li-Blanche. — Distribution des fragments erratiques selon les espèces de roches. — Les gros blocs erratiques sont plus rares dans la Basse-Suisse que sur les hauteurs. Cause de cette différence. — Pourquoi dans certaines localités on ne trouve pas de matériaux erratiques sur les montagnes à l'opposite des vallées qui ont fourni une quantité considérable de débris.

C. **Hauteur où atteint le terrain erratique.** - Extrémité supérieure du Valais. — Vallée de Conches. — Lax et Ærnen. Les bassins de Brigue, Viége, Sion et Martigny. — Morcle. Saint-Maurice. Bassin du lac Léman. Chalets de la Playau. Thonon. — Vallées latérales du Rhône. — Terrain erratique sur la montagne de Plan-y-Beuf, 877 mètres au-dessus du sol de la vallée. — T. E., près de Stalden. 812 mètres au-dessus de la Viége. Jorogne, vallée d'Avançon, 747 mètres. — T. E. Jura en face de la vallée du Rhône, sur le Chasseron, 1007 mètres au-dessus de la plaine. — T. E., au Chaumont, 779m,6 au-dessus du lac de Neufchâtel. — Chasseral, T. E., 615 à 715 mètres au-dessus du lac de Neuchâtel. — Terrain erratique (T. E.) sur le revers du Chasseron, vers l'ouest. De Bullet à Sainte-Croix, 975 mètres. — Au-dessous du village de Jougne, 617 mètres au-dessus du lac de Neuchâtel. - Jougne à Saint-George, 568m,4 au-dessus du lac Léman. — A Arzier, 260 mètres. — Aux chalets du Paule il remonte à 650 mètres et descend rapidement vers la plaine de Gex. — Terrain erratique depuis Ærnen jusqu'à Brigue, 910 mètres de hauteur. — De Brigue à Martigny, 810 mètres au-dessus du Rhône. — Entre Martigny et Saint-Maurice, 975 mètres. — Saint-Maurice jusqu'au bassin du lac Léman, 750 mètres. — Terrain erratique, bassin du lac Léman, au plateau du Jorat, 845 mètres de hauteur. — Moraine frontale à

975 mètres au-dessus du lac de Neuchâtel. — La plus grande accumulation de blocs est en face de la vallée du Rhône. — Le terrain erratique atteint 750 mètres aux chalets du Boule.

C. **Manière dont le terrain erratique finit.** — Digues ou bandes. — Dépôts éparpillés. — Mélange de terrain erratique par érosion. — Blocs isolés. — Aucun triage ne peut avoir lieu dans les transports opérés par les glaciers. — Étendue du terrain erratique. — Vallées qui débouchent dans le bassin de la Basse-Suisse et leurs vallées latérales.

C. **Surfaces frottées.** — Stries. — Érosions verticales. — Sillons (coups de gouge). Creux et sillons.

C. **Hypothèses diverses sur le transport des débris erratiques.** — Introduction, 1841. — Objections à toute hypothèse admettant des courants d'eau. — Inondation de la vallée de Bagnes (Valais) en 1818. — Conclusions.

De Saussure (paragraphes S).

S. **Phénomène erratique dans les Alpes.** . . . . . 61 à 139

De l'origine des cailloux roulés et des fragments de roches que l'on trouve dispersés dans les vallées du lac de Genève, sur les montagnes adjacentes et ailleurs. — Ce qu'on entend par cailloux roulés. — But de l'étude des cailloux roulés. — Résultat de ces observations. — Doutes sur leur origine. — Pierres naturellement arrondies. — Comment elles diffèrent des cailloux roulés. — On voit les eaux arrondir les pierres angulaires — A la source des torrents qui sortent des glaciers et dans le lit des torrents, les pierres ont toutes des formes arrondies; sur les glaciers et sur les rives, les roches ont des angles vifs et des arêtes tranchantes. — Au bord de la mer. — Les masses de laves à arêtes vives exposées aux vagues de la mer sont arrondies dans l'espace de deux années. — Ceux de nos environs ont été charriés et arrondis par les eaux. — On trouve qu'ils sont étrangers à notre sol, arrachés des Alpes, leur lieu natal, par un agent puissant qui les a transportés, arrondis et entassés confusément. — Et que ce sont les eaux qui les ont transportés. — Les eaux en ont transporté jusque sur les montagnes. — Question sur l'origine de ces eaux. — Hypothèse en réponse à cette question. — Preuves de cette hypothèse. — Observations qui confirment cette hypothèse. — Autres indices de l'ancienne élévation des eaux. — Le passage de l'Écluse. — Recherches sur l'origine de cette ouverture (l'Écluse). — Le Vouache et le Jura ont été anciennement unis. — L'érosion des eaux les a séparés. — Vestiges de ces érosions. — Ces vestiges ne peuvent se conserver que sur des faces verticales. — Cailloux roulés au delà de l'Écluse. — Précis des révolutions exposées dans ce chapitre. — Vestiges de ces derniers changements. — Carouge. — Monument historique de l'abaissement du lac de Genève. — Diminution générale des eaux. — Recherches de preuves encore plus directes. — Le Mont-Salève. — Ses flancs escarpés ont été sillonnés par les eaux. — Mont-Salève. — Cavités arrondies produites aussi par les anciens courants. — Désignation des places où ces vestiges sont le plus visibles. — Excavations diversement dirigées et même en sens contraire du courant. — Autres effets des mêmes causes. — Les grottes de l'Hermitage. — La gorge de Monetier. — Blocs de roches primitives. — Situation remarquable de quelques-uns de ces blocs. — Ils occupent encore la place où ils ont été déposés. — Et ce sont les eaux qui les ont déposés. — Blocs de pierres primitives sur le grand Salève. — La Croisette et le Piton. — Sable au sommet de cette partie du Salève. — Pourquoi dans cette partie on ne trouve pas des blocs de granit. — Singulier vestige de ces anciens courants. — Grand puits au bord de la montagne (Mont-Salève). — Creux du Brifaut. — Traces des courants qui ont creusé ce puits. — Grands blocs roulés. — Coteau de Boisy. — Autres blocs de roches feuilletées. — Coteau de Boisy. — Blocs de granit. — Coteau de Boisy. — Cailloux et blocs roulés. — Thounon. — Colline de Saint-Paul. — Meillerie. — Montagnes de Meillerie et de Saint-Gingouph très-escarpées. — Les montagnes vont en s'abaissant depuis leur centre jusqu'à la plaine. — Recherches des anciens courants dans le Jura. — A Ornans. — Entre Belfort et Porrentrui. — A Pierre-Pertuis. — Collines de cailloux roulés; autres preuves des anciens courants. — Jura. Jougne. — Clairvaux. — Nature des cailloux dans l'intérieur du Jura. — Dans l'intérieur du Jura on ne trouve que des cailloux calcaires et point de cailloux primitifs; les vallées extérieures sont remplies de cailloux roulés, de granit, porphyre etc. — Gimel. — Cailloux roulés. — Gros blocs sur le Jura. — Balaigre. — Cailloux roulés des Alpes. — Jura. — Cailloux roulés. — Yverdun. — Granson. — Le Jorat diffère du Jura. — Description de cette montagne, le Jorat. — Sa hauteur. — Le Jorat est composé de grès. — Blocs de granit et autres fragments de roches des Alpes. (le Jorat). — Ravine de la Ménoge. — Genève à la Bonne-Ville. — Colline de sable et cailloux roulés. — Débris des montagnes primitives. — Bonneville à Cluse. — Blocs de

granit. — Sallenche. — Blocs de granit transportés par d'anciennes révolutions. — Saint-Gervais. — Grès ou poudingues entre les montagnes primitives et les secondaires. — Le Buet. — Conséquences théoriques de ce phénomène. — L'interposition de ces grès ne détruit pas la liaison entre les différents ordres de montagnes. — Blocs en aval du Glacier-des-Bois et sur les hauteurs, déposés par l'ancienne extension des glaciers. — On peut vérifier ici plusieurs points de la théorie des glaciers. — Glacier-des-Bois. — Mouvement des glaciers constaté par des alignements. — Réflexions géologiques. — Grand bloc de granit. — Château du Montanvert, porté là anciennement par le glacier. — Recherches et débris au-dessus du chalet de Blaitière (Chamounix). — Observations générales sur les cailloux roulés. — Roches dures très-plates, très-dures et polies par le frottement. — Bon-Homme. — Allée-Blanche. — Grès remplis de cailloux roulés. — Allée-Blanche. — Effets des cailloux roulés sur l'esprit de l'observateur. — Environs du Grand-Saint-Bernard. — Course à une roche polie. — Roches feuilletées. — Roches de corne. — Ardoise spongieuse. — Mines de fer magnétique. — Plombagine. — Rocher poli. — Blocs de granit roulé. — Saint-Pierre à Orsière. — Montagnes moutonnées. — Martigny à Saint-Maurice. — Poudingues. — Mont-Chardonne à Lausanne. — Route de Vevey à Genève. — Blocs et galets. — Monceaux de sable accumulés par le vent sous des formes régulières. — Allasio. — Gênes à Nice. — Certains sables sont le résultat d'une cristallisation qui s'est opérée dans le sein des eaux. — Blocs de granit roulés. — Montagne de Saint-Georges. — Cailloux roulés très-haut. — Cailloux roulés. — Supergue. — Considérations générales sur les plaines de la Lombardie. — Considérations sur la terre végétale. — Turin à San-Germano. — La terre végétale ne se change pas en sable. — Limite des accroissements de la terre végétale. — Turin. — San-Germano. — Cailloux roulés des environs de Turin. — Variolites de Turin. — Variolites de la Sesia. — Porphyre de feldspath et de delphinite. — Sesia. — On ne connaît pas le pays natal de ces cailloux. — Collines de sable et de gravier. — Apennins. — Blocs de granit énormes. — Toppiano, Formozza, aux îles Boromées. — Cailloux du Tessin. — Nova. — Situation des couches déposées par les débordements. — Pavie à Novi. — Cailloux roulés de l'Isère. — Livron et Valence. — Collines de cailloux roulés. — Terre rouge. — Montélimar, Valence, Tain. — Cailloux roulés de l'Isère. — Variolite du Drac. — Cailloux arrondis par le frottement. — Stéatite lamelleuse. — Rochers d'où viennent les variolites. — Variétés de cette roche. — Variolites à base de pétrosilex. — Variolites à base de hornblende. — Porphyre glanduleux. — Roches à glandes de jade. — Porphyre à base d'argile. — Porphyre tendre. — Porphyre gris. — Porphyre à cristaux parallèles. — Schiste porphyrique. — Roche de corne mélangée. — Schiste de hornblende et de feldspath. — Schiste grenatique. — Granitelle. — Jade et smaragdite. — Autres cailloux. — Ces cailloux ne viennent ni de la Durance ni du Rhône. — Cause plus probable. — De Beaucaire au pont du Gard. — Collines sans cailloux roulés. — Cailloux roulés et anguleux du Gardon. — Blocs alpins. — Route de Tain à Vienne. — Derniers rochers entre Vienne et Lyon. — Cailloux roulés, sable, gravier. — Saint-Symphorien d'Ozon. — Sortie de Lyon, colline de sable. — De Zweizimmen à Erlenbach. — Nul caillou primitif. — Granits arrondis dans le bas, aigus dans le haut. — Bassin des glaciers de l'Aar. — Retour à l'hospice du Grimsel. — Le glacier du Rhône a rétrogradé. — Moraines. — Collines de débris. — Vierzon à Cavaglia. — Route qu'ont suivie ces débris. — Le phénomène des cailloux roulés appartient aux deux côtés des Alpes. — Cailloux roulés seulement au bord de la mer. — Blocs de granit énormes à angles vifs. — Colline de terre et gravier à Sembranchier. — Colline de Genève. — Structure des collines de Saint-Jean et de la Batie. — Roches de Cartigny. — Tours. — Pyramides irrégulières. — Fond horizontal de la vallée de Chamounix. — Amas de sable, de cailloux et de grands blocs roulés. — De la Novalèze à Turin. — Avigliana. — Forme des collines de débris. — Avigliana et Rivoli. — Mont de Sion. — Blocs de granit. — Gorges creusées par les eaux. — Mont-Salève. — Plaine abandonnée par le lac d'Annecy. — Grès en couches peu inclinées. — Couches de sable et de gravier. — Annecy. — Montagnes calcaires qui forment les deux côtés de la vallée rejoignent par dessous les terres, les grès, les débris qui recouvrent le fond de la vallée. — Rumilly à Aix.

Guyot (paragraphes G.).

G. **Phénomènes erratiques dans les Alpes** . . . . . 140 à 150

Introduction. — Vallée de la Linth. — Vallée de la Reuss. — Vallée de l'Aar. — Vallée du Rhône. — Note.

Escher von der Linth et **Oswald Heer** (paragraphes E. et H.).

E. et H. **Phénomènes erratiques en Suisse** . . . . . 151 à 176

Introduction. — Matières erratiques trans-

portées par l'eau. — Matières erratiques transportées par les glaces flottantes. — **Perraudin**, 1815. — **Venetz**, ingénieur 1825. — Échelle de **de Saussure**, 1788. — Glaciers en activité. — Action sur les rochers qui les encadrent. — Bassin du lac de Zurich. Zurich est bâti sur terrain erratique. — Bassin du Rhin, Coire à Ragatz etc. — Matériaux erratiques transportés par d'anciens glaciers. — Vallée du Rhin jusqu'à Mayence. — Marmottes jadis dans la vallée du Rhin. — Extension, (accroissement), retrait (diminution) des glaciers. — Action du Fœhn (vent du sud, vent d'Afrique) sur les matières gelées. — **Ritter**, ses conjectures. — Anciennement le Sahara était couvert d'eau (une mer à l'époque des années glaciaires). — Les vents du sud (Afrique) n'avaient alors point d'action sur les matières gelées.

Emile Benoît (paragraphes E. B.).

E. B. **Phénomènes glaciaires du Jura**. . . . . 177 à 191

Introduction. — Vallée de la Valserine. — Vallée de la Semine. — Vallée de Saint-Claude. — Vallée de Villars, d'Heria. — Plateau de Saint-Laurent, ou du Grandvaux. — Considérations générales. — Addition.

Édouard Collomb (paragraphes E. C.).

E. C. **Phénomènes erratiques dans les Vosges** . . . . . 193 à 265

Vallée de Saint-Amarin. — Moraine frontale de Wesserling. — Vides qui forment voûte dans l'intérieur des moraines. — Moraine de Krüth. — Les terrains erratiques ne sont pas stériles. — Moraines par obstacle. Bärenberg. — Stossseite (partie choquée). — Leeseite (partie préservée). — Le Marlen. — Le Hasenbühl. — Glattstein (roche striée). — Stries rectilignes. — Boue de glacier. — Stries croisées. — Vallée d'Urbès. — Vallée de Mollau — Vallée de Storkensohn. — Vallée de Schliffels. — Vallée de Mitzach. — Vallée de Saint-Nicolas. — Vallée de Mitzach. — Vallée de Guebwiller. — Vallée de Münster. — Metzeral. — Sondernach. — Vallée de Masseveaux. — Moraine de Kirchberg. — Oberbrück. — Sewen. — Cascade du Dollsprung. — Vallée de Rimbach. — Vallée de Giromagny. — Giromagny. — Moraines. — Blocs erratiques. — Le Querti. — Versant occidental des Vosges. — Vallons de Rouge-Rupt et de la Grande-Courrue. — Cônes d'éboulements. — Lac de Fondromé — Vallée de la Moselle. — Karrenfelder. — Vallon de la Prelle. — Syénite usée et corrodée par l'eau, polie et moutonnée par les glaciers. — Boue de glacier dans le terrain erratique. — La boue de glacier est adhérente aux rochers. — Mortier adhérent. — Marais et lacs. — Lac des Corbeaux. — Anciens glaciers de la vallée de Saint-Amarin. — Limites du phénomène erratique. — Vallée de Saint-Amarin — Ligne inférieure. — Ligne moyenne. — Ligne supérieure. — Matériaux erratiques déposés avec une lenteur extrême. — Les espaces vides, creux, dans les moraines sont une preuve de l'origine glaciaire de ces moraines. — Direction et point de départ du terrain erratique. — Les stries sont constamment situées dans la direction de l'axe principal de la vallée. — Roches polies et striées. — Stries rectilignes. — Stries saccadées. — Stries cannelées. — Roches striées et galets rayés dont l'origine n'est pas glaciaire. — Le glacier use les surfaces planes, convexes et concaves. — Polis et striés non glaciaires. — Polis et striés de strates. — Polis et striés de Schlitten (traîneaux). — Éboulement de terrain. — Roches et galets striés. — Identité des faits observés dans les Vosges avec ceux d'autres contrées, relativement au terrain erratique. — Échantillons des roches striés des Vosges et des Alpes. — On ne trouve pas de galets rayés dans les torrents. — Usure des roches par le battement des vagues dans les lacs. — Identité des roches striées des Vosges et de celles de la Suisse, de l'Amérique, de la Suède, de l'Écosse etc. — Identité des autres accidents propres aux terrains erratiques. — MM. **Agassiz** et **Desor**. — Courses dans les Vosges. — Terrain erratique des Vosges identique à celui des autres contrées. — Le phénomène erratique a cessé par une révolution lente. — Moraines échelonnées. — Moraine frontale triple à Wesserling. — Massevaux. — Giromagny. — Moraines frontales échelonnées sur le revers occidental des Vosges. — Périodes pendant lesquelles les glaciers ont existé dans les Vosges. — Galets rayés. — On ne trouve jamais de galets rayés dans les lacs ou dans les dépôts de cailloux transportés par des courants d'eau. — Les galets rayés transportés par les torrents des glaciers perdent leur burinage. — Expérience directe pour prouver que les raies des galets sont détruites par le mouvement et le frottement amenés par un courant d'eau et de graviers.

Société géologique de France réunie à Épinal (paragraphes S. G. F.).

S. G. F. **Phénomènes erratiques dans les Vosges**. . . . . 267 à 290

Introduction. — Épinal à Remiremont. — Moraine de Tholy. — Tholy en aval de Saint-Amé. — Série de moraines frontales. — Val d'Ajol. — Moraine d'Olechamp. — Moraines du Tholy, Saint-Amé, Rupt, lac de Fondromé, Grande-Courrue. — Lispach. — Première époque. — Seconde épo-

que. — Troisième époque. — Vargottes. — Blocs erratiques. — Roches moutonnées et striées. — Grande moraine terminale de l'ancien glacier de la Moselle. — Glacier monstre. — Absence de galets rayés. — Gérardmer. — Moraines stratifiées. — Conclusions glaciairistes et diluvianistes. — Lac de Gérardmer. — Vallée de Saint-Amarin. — Moraine par obstacle. — Ilot de Wildenstein. — Ilot de l'église d'Oderen. — Moraines frontales. — Galets rayés. — Moraines de Wesserling. — Roches striées. — Stries rectilignes. — Stries saccadées. — Stries cannelées. — Saint-Maurice par le ballon à Giromagny. — Sommet du ballon. — Syénite du ballon d'Alsace. — Terrains erratiques de Bussang par le ballon à Giromagny. — Ballon d'Alsace. — Blocs déplacés. — Blocs sporadiques (Teufelsmühlen). — Résumé. — Courant d'eau puissant. — Ruisseau ou ruisselet. — Lacs, étangs, marais. — Disparition des anciens glaciers. — Calotte de glace. — De Giromagny par le ballon à Remiremont. — Syénite du ballon à Saint-Maurice. — Molybdène sulfuré. — Feldspath orthose rose. — Diorites. — Amphibolite.

Henri Hogard (paragraphes H.).

H. **Phénomènes erratiques dans les Vosges** . . . . . 291 à 305

Dépôts erratiques dans la vallée de la Meuse. — Nappes de comblement dans les vallées de l'ouest des Vosges. — Moraines profondes. — Amas de sables, de galets et de blocs à surfaces polies. — Dépôts de sable, galets, lehm ferrugineux, d'ossements, de dents d'éléphants et d'ours de cavernes etc. — Explication de la formation de ce dépôt. — Les ossements n'offrent aucune trace de frottement. — Dépôt de Rebeuville. — Dépôt de Saint-Privas, près Verdun. — Dépôts dans les Ardennes. — Dépôts dans le département de la Meurthe. — Les cailloux provenant des Vosges se retrouvent dans les vallées de la Meuse. — Diluvium des plateaux et diluvium des vallées. — Les glaciers transportent les matériaux des roches qui les encaissent. — Boue glaciaire ou lehm. — Action de l'eau. — Karren de l'époque glaciaire. — Conclusions.

Henri Hogard (paragraphes H.).

H. **Phénomènes erratiques entre Bâle et Coblence** . . . . . 307 à 332

Introduction, 1858. — Terrain de comblement. — Moraines profondes. — Dépôts glaciaires. — Boue glaciaire. — Plaine du Rhin. — Bâle à Neuf-Brisach. — Diluvium. — Alluvions. — Le Rhin coule sur une nappe de comblement. — Bancs ou îles du Rhin. — Entre Bellingen et Istein. — Érosions. — Nappe de comblement. — Bâle à Bingen. — Mulhouse à Valdieu et à Riedisheim. — La masse principale du comblement se compose de matériaux provenant des Alpes et du Jura. — Suisse. — Courants d'eau. — Entre Mulhouse et Bingen. — Galets ni lavés ni roulés à Rixheim. — Lac. — Érosions par des courants d'eau. — Terrasses successives. — Bâle à Neuf-Brisach. — Le Rhin n'exécute pas de nouveaux remblais dans son lit. — Schlierbach et Petit-Kembs. — Griesheim et Sultz. — Bâle et Sultz. — Bâle à Mulhouse. — Col de Valdieu. — Bassins de l'Ill et du Doubs. — Hauteur du dépôt des cailloux et du lehm (Bâle). — Ranspach, Folgensberg, Altkirch, Schlierbach, Mulhouse, Francken. — Bâle. — Schlierbach, Kembs, Folgensberg. — Blodelsheim. — Transport des cailloux et du lehm. — Vitesse du Rhin. — Vallée de la Doller et de Sultzbach. — Vallon de Hundsbach. — Buttes de Bâle. — Galets des Alpes, des Vosges et de la Forêt-Noire. — Birse. — Wiese. — Moraine profonde des anciens glaciers du Rhin. — Mer de glace du Rhin alimenté. — Absence des moraines frontales et des blocs erratiques. — Entre Bâle et Neuf-Brisach les limites des eaux du Rhin sont marquées par des terrasses. — Alluvions. — Les alluvions sont des débris remaniés du dépôt erratique. — Les cours d'eau ne sont pas la cause de comblement du bassin du Rhin. — Le lehm est la boue des anciens glaciers. — Francken à Mulhouse. — Lehm. — Kaiserstuhl à Mulhouse. — Bâle à Neuf-Brisach. — Mulhouse. — Un diluvium plus ancien que les glaciers monstres est un fait aussi nouveau qu'inexplicable. — Le lehm du bassin du Rhin provient des anciens glaciers. — Extension des glaciers de la Suisse et des Vosges. — Extension des glaciers des Vosges. — Bingen et Braubach. — Défilé de Bingen. — Salzig, Bornhofen, Braubach. — Coblence.

A. Daubrée (paragraphes A. D.).

A. D. **Alluvions anciennes et modernes d'une partie du bassin du Rhin** . . . . . 333 à 000

Introduction. — Alluvions modernes. — Alluvions anciennes ou diluvium. — Relation de la température et du volume du Rhin avec la température de l'air. — Travail de destruction et de reproduction du fleuve. — Bancs ou îles. — Disposition imbriquée des cailloux qui recouvrent une île. — Disposition du centre de gravité des cailloux imbriqués. — Transport de certains cailloux par projection. — Influence de la glace sur le transport des cailloux. — Lits successifs d'accroissement dans un même banc de gravier. — Apparition de la végétation sur les bancs de gravier. — Dépôt du limon sableux. — Absence de stratification dans le limon sableux. — Rapidité de certains

transports de cailloux. — De l'usure journalière des cailloux. — Corrosion profonde de pieux par le frottement de cailloux. — Autre exemple d'usure. — Plusieurs formes de cailloux correspondent à des modes différents de frottement. — Dimensions des plus gros cailloux charriés aujourd'hui. — Vitesse du Rhin à Bâle. — Quantité de limon charrié par le Rhin. — Rapport de ce volume à la superficie du bassin du fleuve. — Terrasses de gravier entre lesquelles le Rhin coule près de Bâle. — Disposition en gradins de ces terrasses à la hauteur de Huningue. — Terrasses des bords de la Birseg. — Le diluvium est souvent peu puissant dans la partie méridionale de la plaine. — Poudingue de la colline Sainte-Marguerite et de Blotzheim. — Continuation de la terrasse de Saint-Louis jusqu'aux environs de Neuf-Brisach. — Ligne de villages construits sur la limite de cette plate-forme naturelle. — Profil longitudinal de cette terrase. — Terrasse de la rive droite qui forme la contre-partie de la précédente. — Absence des terrasses semblables dans le nord de la plaine du Rhin. — Autre origine des terrasses qui bordent le Rhin dans la partie septentrionale de la plaine. — De la plaine comprise entre les deux terrasses méridionales. — Relation du diluvium avec la molasse tertiaire sous-jacente. — Solidité du poudingue diluvien de Rheinweiler. — Infiltration ferrugineuse dans le diluvium. — Corrosions des roches calcaires d'Istein. — Absence de blocs alpins aux environs de Bâle. — Pente de la surface des terrasses diluviennes du Haut-Rhin ; considération qui en résulte. — Basse plaine du Rhin du Kaiserstuhl à Mannheim. — Divagations nombreuses du Rhin depuis les temps historiques. — 1295. — 1398. — 1808. — Huitième siècle. — Treizième siècle. — 1652. — Sixième et neuvième siècle. — Limon qui recouvre généralement le gravier. — Or du Rhin. — Dispositions des alluvions anciennes qui bordent les affluents du Rhin. — Superposition du gravier jurassique au gravier alpin près de Bâle. — — Position semblable du gravier diluvien de la Forêt-Noire. — Diluvium des Vosges. — Faible arrondissement des cailloux des Vosges, de la Forêt-Noire. — Superposition du gravier des Vosges au gravier alpin. — Limon jaune des plateaux. — Lœss ou lehm. — Dépôts erratiques. — Régime des cours d'eau qui ont achevé le modèle de la plaine du Rhin. — Planches. — Hauteurs et températures du Rhin à Kehl, du 1er janvier 1848 au 31 janvier 1849.

Carl Vogt et Dollfus-Ausset (paragraphes C. V. et D. A.).

C. V. et D. A. **Phénomènes glaciaires de la Forêt-Noire (Schwarzwald)** . . . . . 371 à 374

Indroduction. — Moraines composées de blocs anguleux mêlés à des galets et du sable grossier. — Galets et blocs polis seulement sur une ou deux faces : signe distinctif des galets glaciaires. — Moraines pareilles à celles des Vosges. Les vallées sont barrées par une ou plusieurs rangées de moraines. — Le Titi-See et le Schluch-See n'existent que par les moraines qui ont barré les vallées. — Le Titi-See. Son niveau a graduellement baissé par suite de l'érosion du lit du torrent dans les terrains meubles de la moraine. — Moraine au Bærenthal. Blocs et surfaces polies. — Conclusions. — 1861. Moraine profonde de Fribourg. — 1862. Moraine du Wiesenthal.

R. Blanchet (paragraphes R. B.).

R. B. **Dépôts glaciaires du bassin inférieur du Rhône, de Lyon à la mer** . . . . . 375 à 386

Dépôts erratiques à Chambéry. — Dépôts erratiques entre Pont-Chéri et Janeyriat. — Dépôts erratiques à Lyon. — Alluvions erratiques. — Blocs anguleux, polis et striés. — L'hypothèse des glaciers rend compte de tous les détails. — Dépôts de Lyon à Avignon. — Sainte-Colombe. — Tain. — Charmes. — Lavoulte. — Loriol. — Embouchure de l'Ardèche. — Avignon. — Gadane. — Châteauneuf-du-Pape. — Nîmes et Montpellier. — De Lyon à Avignon toutes les roches sont arrondies (moutonnées). — Vallée d'Auriol. — Avignon à Valence. — Le lit du Rhône n'a pas changé de hauteur à Lyon. — Altitude et pente du Rhône.

Édouard Desor (paragraphes E. D.).

E. D. **Phénomènes erratiques en Scandinavie comparés à ceux des Alpes** . . . . . 387 à 413

Introduction. — Surfaces polies. Roches. ballonnées, moutonnées. — Sulcatures. Sillons. Cannelures. Stries. — Stries rectilignes. Cannelures. Larges sillons (cylindres creux ou coups de gouge). — Les sillons creusés par les eaux n'ont jamais de stries dans l'intérieur. — Couloirs polis et striés. — Sillons, stries fines perpendiculaires à la direction générale des sulcatures. — Les sulcatures sont en général parallèles sur un point donné. Les stries fines se croisent quelquefois sous des angles de 40 à 60 degrés et plus, comme dans les Alpes. — Côté d'amont, côté choqué (*Stossseite*), côté d'aval, côté préservé (*Leeseite*). — La direction des sulcatures en général est assujettie aux mêmes lois que dans les Alpes. — En

Suède, la direction des sulcatures est plus uniforme qu'en Norwége. — En Scandinavie, comme en Suisse, les cimes qui s'élèvent au-dessus des rochers moutonnées, polis et striés, sont dentelées. — L'agent qui a arrondi, moutonné, ballonné les montagnes, est le même que celui qui les a polies, striées, rayées et sillonnées. — La faible inclinaison du sol présentée comme une grave objection à la théorie glaciaire. — Les stries ne suivant pas exactement la pente du terrain, présentent une grave objection à la théorie glaciaire. — Moraines, blocs erratiques, diluvium proprement dit, œsars. — Moraines. — Blocs erratiques. — Diluvium. Galets et gros blocs. Limon ou argile très-fin. Sable très-fin. — Les glaciers ne transportent pas seulement les matériaux qui tombent sur leur surface; ils en arrachent aussi au sol sur lequel ils se meuvent. — Les blocs et cailloux du diluvium sont burinés, comme les roches sur lesquelles ils reposent. — Coquilles dans le diluvium scandinave. — Rapport qui existe entre le phénomène erratique du nord et les soulèvements de la Scandinavie. — Relèvement et abaissement du sol de la Scandinavie. — Des stries et des cannelures se plongeant sous les eaux de la mer. — Les polis du nord ont été occasionnés par d'immenses glaciers qui ont transporté au loin les blocs erratiques de la Scandinavie et fourni les matériaux du diluvium et des œsars. — Temps écoulé entre le retrait des glaciers et l'abaissement du sol. — Couches irrégulières du limon, du gravier et de tous les matériaux du diluvium. — Immersion des terres par l'eau. — Œsars. — Les œsars renferment des débris interposés et des coquilles. — Explication des œsars. — Blocs anguleux à la surface des œsars. — La ville de Tornéo, autrefois un port de mer, est aujourd'hui à plus d'une lieue dans l'intérieur des terres. — Résumé.

J. Durocher (paragraphes J. D.).

J. D. **Phénomènes erratiques de la Scandinavie**. . . . . 415 à 463

Phénomènes erratiques du Nord. — Norwége. — Scandinavie. — Contrée d'Æreskuttan. — Dépôts de transport dans le nord de l'Europe. — Dépôts de transport de la Suède. — Œsars. — Dépôts de transport et matériaux erratiques. — Transport des blocs erratiques du nord par des glaces flottantes. — Caractères essentiels aux phénomènes erratiques du nord. — Glaciers en Suède et en Finlande. — Suède orientale. — Système sulcateur de la contrée d'Æreskuttan. — Golfe de Bottnie, de Finlande et la Baltique. — Coup d'œil sur les théories proposées pour expliquer les phénomènes erratiques du nord de l'Europe. — Coup d'œil sur les phénomènes erratiques des Alpes et des Pyrénées, comparés à ceux du nord de l'Europe. — Erosions dans les Alpes et dans les Pyrénées. — Élévation maximum des tracés du phénomène erratique en Scandinavie. — Élévation de la limite supérieure de la zone erratique dans les Pyrénées. — Disposition divergente des stries dans les Alpes, les Pyrénées et les Vosges. — Différences dans la disposition des stries à l'intérieur des vallées profondes et sur les plateaux ou régions à collines. — Différences entre les phénomènes erratiques de la Scandinavie et ceux des Alpes ou des Pyrénées. — Caractères généraux des dépôts de transport dans les vallées des Alpes et des Pyrénées. — Disposition des blocs erratiques. — Sur les dépôts de transport dans les Pyrénées. — Comparaison des dépôts de transport du nord de l'Europe avec ceux des Alpes et des Pyrénées. — Difficultés que présente l'explication des phénomènes erratiques des Alpes et des Pyrénées, d'après la théorie glaciaire. — Considérations comparatives sur la théorie glaciaire et la théorie diluvienne. — Conclusions.

Ch. Martins (paragraphes C. M.).

C. M. **Phénomènes erratiques de la Scandinavie**. . . . . 465 à 483

Introduction. — Réponse aux objections de **M. Durocher** contre l'ancienne extension des glaciers de la Scandinavie. — Réponse aux objections contre l'ancienne extension des glaciers dans les Alpes.

Ch. Martins (paragraphes C. M.).

C. M. **Transport de certains blocs erratiques de la Scandinavie et de l'Amérique du nord**. . 485 à 492

Introduction. — Glaciers de la Suède et de la Norwége. — Transport des blocs erratiques sur des masses de glace détachées. — Glaces flottantes. — Stries sur les rochers. — Œsars. — Terrain erratique près de Boston (Etats-Unis). — Conclusions.

Ch. Martins (paragraphes C. M.).

C. M. **Glaciers du Spitzberg** 493 à 528

Introduction. — Glacier de la Pointe-aux-Renards. — De Bell-Sound. — De l'Entrée. — De la Pointe-aux-Tombeaux. — Du fond de la baie. — Etendue des glaciers du Spitzberg. — Etendue des glaciers de la Suisse. — Altitude des glaciers. — Glaciers inférieurs et glaciers supérieurs de la Suisse. — Pentes et hauteurs verticales des glaciers du Spitzberg. — Grand glacier de Horn-Sound. — Glacier de Magdalena-Bay. — Sept-Glaciers. — Glacier de Bell-Sound. — Glacier du Beerenberg. — Suisse et Sa-

voie. — Glaciers des Bossons. — Glacier de Lötsch. — Col du Mont-Cervin (passage du Saint-Théodule). — Forme des glaciers du Spitzberg. — Glacier de Tolefre. — Glacier des Bossons. — Glacier des Bois. — Glacier de Grindelwald. — Glacier de Magdalena-Bay. — Glacier de Bell-Sound. — Température de l'air ambiant à Bell-Sound et à Magdalena-Bay. — Végétation à Bell-Sound et à Magdalena-Bay. — Glaciers à pyramide. — Glaciers de Sulitelma. — Glacier Svinafells-Jökull. — Glacier Hölaar-Jökul. — Glaciers inférieurs de la Suisse. — Glaciers supérieurs de la Suisse. — Glaciers du Spitzberg. — Les glaciers du Spitzberg se moulent sur le sol comme ceux des Alpes. — Ruisseaux sur la surface des glaciers du Spitzberg. — Crevasses des glaciers du Spitzberg. — Formation des crevasses prise sur le fait au glacier de l'Unter-Aar. — Nature de la glace des glaciers du Spitzberg. — Les cristaux de glace des glaciers diminuent de grosseur à mesure qu'on remonte le glacier dans les Alpes. — Formations cristallines singulières. — Moraines et blocs erratiques. — On ne trouve pas de blocs enchâsses dans la glace à la pente terminale. — Les glaciers simples sans affluents n'ont que des moraines latérales dans les Alpes et au Spitzberg. — Causses de l'apparition à la surface des blocs enfoncés dans leur épaisseur. — Glacier du Faulhorn (Suisse). — Météorologie au Faulhorn. — La chaleur du sol en hautes régions a peu d'influence sur les glaciers. — Les matériaux enchâssés accidentellement dans le glacier reviennent à la surface par suite d'ablation, fonte de la surface. — Première expérience. — Deuxième expérience. — Ablation de la glace. — Glaciers du Spitzberg. — Météorologie. — Blocs sur la surface et blocs dans l'intérieur des glaciers. — Puissance des glaciers du Spitzberg. — Puissance des glaciers dans les Alpes. — Causes de la démolition annuelle des glaciers du Spitzberg. — Preuves que les glaciers s'avancent dans la mer. — Preuve que les glaciers ne glissent pas sur leur fond. — Voûtes des glaciers de la Suisse (*Gletscherthor*). — Glaces flottantes de la baie de Baffin. — Causes de la progression des glaciers du Spitzberg. — Température de la terre. — Progression des glaciers. — Analogie des glaciers du Spitzberg et de ceux de la Suisse. — Note additionnelle. — Les glaciers du Spitzberg progressent.

Glaces flottantes. — Chasse aux ours blancs sur une banquise 529 à 531

Louis Agassiz (paragraphes A.).

A. Phénomènes erratiques en Amérique . . . . . 533 à 555

Introduction. — Phénomène erratique en Amérique. — Aucun fait important relatif au transport des matériaux erratiques en Suisse n'a été indiqué par les diluvianistes, depuis les recherches de de Saussure, de Luc, d'Escher et de Buch. — Dans chaque bassin erratique de la Suisse les matériaux erratiques sont arrangés dans un ordre régulier bien déterminé, en relation avec les centres de distribution d'où ils ont été enlevés. — Mêmes faits dans les îles britanniques, dans les Pyrénées et la Forêt-Noire. — Blocs de la Russie, la Pologne, l'Allemagne, la Hollande, la Belgique, provenant des pays les plus septentrionaux, de la Norwége, Suède, Laponie et Livonie. — Ces blocs ont-ils été transportés par le même agent que ceux qui sont sortis des centres locaux épars à la surface de l'Europe? — Les erratiques du nord ont-ils été transportés à la même époque que les blocs alpins? — Le même agent a-t-il été employé dans les deux phénomènes erratiques? — Les erratiques à l'ouest du continent américain proviennent des régions septentrionales comme ceux disséminés dans le nord de l'Europe. — L'Amérique présente-t-elle des centres spéciaux de distribution? — Hydrographie. — Le plus considérable des courants actuels est dans la partie occidentale de l'Océan pacifique. Il court d'Orient en Occident. — Le Gulf-Stream se dirige de l'ouest à l'est. — Les courants d'eau n'ont pas pu distribuer les blocs. — Les mêmes causes ont produit les phénomènes erratiques au nord en Amérique et en Europe, et celui qui est restreint à certains groupes de montagnes. — L'eau ne dispose par les matériaux qu'elle charrie en moraines régulières. — L'action de l'eau sur les roches est bien différente de l'action des glaciers sur ces roches. — Phénomènes erratiques dans l'Amérique du nord. — Toutes les collines ont un côté choqué et un côté préservé. — Poli aussi brillant qu'une surface métallique, strié et sillonné dans la même direction. — Stries profondes. Rainures. — Le gravier entraîné par l'eau ne produit point de stries. — Les surfaces polies et les stries ne peuvent être produites que par les glaciers. — Roches striées, sillonnées. — Des géologues ont attribué le phénomène erratique à des glaces flottantes. — Faits observés au Lac supérieur. — Tous les blocs erratiques du nord sont arrondis, striés et polis. — Les matériaux erratiques dans le nord ne sont jamais stratifiés; ils ont une origine terrestre et sont transportés par les glaciers et non par des courants d'eau. — Absence des fossiles

marins ou d'eau douce dans le diluvium glaciaire. — Il est difficile de déterminer quand ces phénomènes ont eu lieu. — Les blocs erratiques ont été transportés au moyen de glaciers terrestres. — Soulèvement du terrain où se trouvent des dépôts stratifiés. — Période de glace. — Le continent septentrional était au-dessous de la surface de l'Océan. — Lac supérieur. — La terre s'est élevée, les eaux se sont abaissées.

Ch. Martins et B. B. Gastaldi (paragraphes M. et G.).

M. et G. **Terrains erratiques de la vallée du Pô, aux environs de Turin** . . . . . 557 à 560

Introduction. — Formation glaciaire. — Terrain erratique éparpillé. — Formations aqueuses. Diluvium glaciaire. — Couches fluvio-lacustres. — Alluvions pliocènes. — Couches pliocènes marines.

A. C. Ramsay (paragraphes R.).

R. **Phénomènes erratiques en Angleterre** . . . . . 561 à 599

Nord du Pays de Galles (*North Wales*). — Bloc perché. — Surfaces polies et striées. — Blocs et matériaux erratiques. — Roches moutonnées. — Moraines. — Blocs anguleux. — Roche polie et profondément striée. — Roches moutonnées, polies, striées, et blocs perchés dans la partie la plus élevée du passage. — Snowdon (*montagne*). — Vallée de Cwmglas. Terrain erratique superbe. — Bleany-nant. Moraines. — Vallée haute très-aride et sauvage. — A 670 mètres alt., deux petits lacs. — Roches moutonnées, polies, striées. — Du sommet du Snowdon on voit trois vallées glaciaires. — Llyn du'r Arddu. Grande moraine. — Moraines. Blocs perchés. Bloc monstre. — Cwm-y-clogwyn. — Lac barré par une moraine. — Roches polies et striées. — Vallée de Llyn Llydaw (*Snowdon*). — Vallées de Llyn Llydaw et de Cwm-dyli. — Vallées de Cwm-dyli et de Llyn Teyrn. — Llyn Llydaw. Lac et terrain erratique. — Moraines et blocs perchés à 80 mètres altitudes au-dessus du lac. — Dans une certaine période le glacier doit avoir eu une épaisseur de 150 mètres et plus. — Les roches qui encaissent le lac sont moutonnées, polies et striées. — Vallée de Cwm-y-Llan. — Moraines et matériaux erratiques. — Snowdon centre de six anciens glaciers. — Série d'observations pour déterminer la plus grande épaisseur que peuvent avoir les glaciers dans le passage de Llanberis. — Contrée entre Bangor et Bethesda. — Cwm-ceunant. — Roches striées. — Y Tryfan. — Pen-yr-Oleu-wen. — Pen-y-gareg. — Tainewyddion et Maes-Caradoc. Roches polies et striées. — Penrhyn et Capel Curig. — Llyn Cywion. Cwm-goch. Cwmbual et Cwm-ceunant. Surfaces striées, blocs erratiques et moraines. — Nant Francon et ses vallées. — Cwm-Grainog. — Nant Francon. Moraine terminale. — — Vallée de Llyn Idwal. — Llyn Ogwen. Cwm-Bochlwyd. Preuves d'anciens glaciers. Lac barré par des moraines. — Toutes les montagnes, vallées et lacs entre Bangor, Capel Curig et Conway renferment des preuves de l'existence d'anciens glaciers. — Phénomènes erratiques en général. — Glaciers et matériaux erratiques. — Vallée de Llyn Cwellyn et lac de Llanberis. — Cwm-Llafar. — Lacs barrés par des moraines. — Lac de Märjelen au glacier d'Aletsch (Alpes). — Lacs dans le nord du Pays de Galles. — Surfaces polies et striées. — Anciens glaciers de la Suisse et glaciers du Pays de Galles. — Glaciers de l'Hymalaya. — Anciens glaciers et période humaine.

John Tyndall (paragraphes T.).

T. **Configuration des Alpes** 601 à 606

Introduction. — Le pays doit principalement sa configuration à l'action des anciens glaciers. — Vallée de Hasle (*Oberland bernois*). — Versant méridional des Alpes. — Les glaciers ont creusé les vallées alpines.

H. Högard (paragraphes H.).

H. **Dépôts erratiques dans la vallée du Rhin** . . . . . 607 à 624

Galets du comblement du Rhin. — Le Rhin n'entraîne aujourd'hui aucun débris des hautes Alpes. — Matériaux qui couvrent les moraines profondes. — Nappes de comblement transportées par les glaciers. — Lehm (boue glaciaire). — La plaine d'Alsace a-t-elle été occupée par un grand lac au moment du dépôt du lehm ? — Hypothèse des courants d'eau. — Ancien glacier de la vallée de la Moselle. — Distribution des matériaux de comblement d'origine erratique. — Vallée de la Thur (Vosges). — Conclusions. Les formations erratiques sont toujours recouvertes par des dépôts alluviens.

H. Högard (paragraphes H.).

H. **Dépôts erratiques de la vallée de la Meuse** . . . . . 624 à 638

Introduction. — Terrain de comblement. — Rive gauche de Mouzon (Vosges). — Ossements et dents d'éléphants dans des cavernes. — Ossements fossiles n'offrant aucune trace de frottement. — Terrain erratique dans les vallées de la Meuse et des Ardennes. — Mouzon et Frenois. — Plateau de Létanne et de Beaumont. — Diluvium des plateaux dans le département de la Meurthe. — Conclusion. Des cailloux provenant des Vosges se retrouvent dans les vallées de la Meuse et de ses affluents, ainsi que sur des pla-

teaux élévés. Action des cours d'eau. — Col de Foug ou du Val d'Ane (Vosges). — Epinal. — Anciens glaciers des Vosges. — Roches couronnées par un chapeau formant saillie. La base délitée par les agents atmosphériques. — Cavités circulaires creusées dans la roche par des galets mis en mouvement par les eaux.

H. Hogard (paragraphes H.).

H. **Moraine profonde du glacier de l'Aar** . . . . . 638 à 652

Introduction. — Moraine profonde. — Les courants d'eau effacent les stries glaciaires. — Conclusions. — Moraine profonde de l'Aarboden. — Chalets de l'hospice. — Terrain erratique de la vallée de Hasle. — Plaine d'Interlaken. — Vallée de Lauterbrunnen. Conclusions.

H. Hogard (paragraphes H.).

H. **Dépôts erratiques de l'Allée-Blanche** . . . . . 652 à 654

Col de la Seigne. — Moraine du glacier de la Brenva. — Lac Combal. — Conclusions.

H. Hogard (paragraphes H.).

H. **Dépôts erratiques du bassin du Pô** . . . . . 654 à 671

Comblement du bassin du Pô. — Terrain de comblement de Rivoli à Turin. — Pentes du terrain de comblement. — La Stura. — Lac Majeur. — Lac de Côme. — Le Pô. — Moraines de Rivoli et d'Ivrée. — Moraine profonde de Riva. — Seregno à Milan. — Lac Majeur. Sesto. — Oleggio. — Marano. — Lac Majeur. Lac de Côme. Lac de Lecco. Lac de Garde. — Plaines du Piémont et de la Lombardie. Nappe de comblement. — Les galets glaciaires enveloppés de lehm perdent cet enduit boueux aussitôt qu'ils sont exposés à l'action des courants d'eau. — Le Pô et l'Adige. — Conclusions. — Moraines frontales de Turin, d'Ivrée, des lacs Majeur, de Côme, de Lecco, de Garde. — Cônes de déjections. — Glaciers anciens.

H. Hogard (paragraphes H.).

H. **Terrain erratique de la vallée du Rhin postérieur** . . . 671 à 716

Nappe de comblement de l'ancien glacier du Rhône. — Rhin postérieur à l'amont de Reichenau. — Via-Mala. — Rofla. Andeer. Hinter Rhein. Splügen. — Lit du Rhin. Action de l'eau. — Comblement de la vallée de la Linth. — Lac de Zürich. — Nappes de comblement du Rhin et de la Linth. — Action des glaciers. — Village-des-Bains. San-Giacomo (Bernardin). Nappe de comblement. — Action des courants d'eau. — Action de l'eau. Observation dans les Vosges, près d'Épinal. — Moraines profondes. — Lac de Lungern. — Lac de Sarnen et lac de Lungern. — Terrain erratique. — Le comblement sur le plateau et celui de la vallée sont absolument identiques. — Nappe de Bonaduz. — Tusis. Nappe de comblement. — Moraines frontales à l'amont de Coire (Grisons). — Feldberg. — Ems. — Plateau de Bonaduz. — Vallée du Rhin. — Tamins. — Action des glaciers et action des courants d'eau. — Bonaduz et Tusis. — Moraines frontales. — Moraines superficielle. — Moraine frontale du Rhône. — Glacier de l'Aar. — Petit lac temporaire de l'Abschwung. — Petit lac à la base du Pavillon. — Via-Mala. Rongella. — Pigneu et Tusis. — Zillis. — Comblement du bassin d'Andeer (Via-Mala). — Moraine frontale. Cône de déjection. — D'Andeer à Bœrenburg. — Roches polies et striées. — Bassin de Suvers. — Terrain de comblement de Splügen à Hinter-Rhein. — Entre Nufenen et Hinter-Rhein. — Vogelberg. — Hinter-Rhein. — Conclusions. — Postcriptum. Phénomène erratique en général. — Table et explication des planches.

AUTEURS PAR ORDRE ALPHABÉTIQUE.

A

Acosta, 267.
Agassiz, 4, 46, 47, 157, 163, 177, 231, 241, 243, 244, 248, 251, 254, 255, 256, 260, 261, 262, 263, 264, 281, 375, 382, 383, 385, 387, 388, 389, 390, 397, 398, 402, 411, 470, 471, 480, 491, 496, 524, 599.
Agassiz, Phénomènes erratiques en Amérique, p. 533 à 555.
Alexandre, 267.
Amien Marcellin, 354.
Ankarværd, 396.
Archiac (d'), 361, 362.

B

Ball (John), président de l'Alpine-Club, 561.
Ballon, 267.
Baup, 6, 33, 56.
Bauya, 267.
Beaumont (Elie de), 244, 248, 251, 254, 255, 264, 282, 353, 356, 376, 409, 415, 440, 459, 511, 513, 525.
Benoît (Emile), Phénomènes glaciaires du Jura, 177 à 191.
Bertrand, 48, 49.
Berzelius, 254.
Besson, 132.
Biche, 267.
Bienaymé, 267.
Billy (de), 267, 276, 284.
Bischoff, 511, 525, 526.
Biselx (chanoine), 24, 524.
Blanchet, 21, 267, 389, 407.
Blanchet (Rod.), Dépôts glaciaires du bassin inférieur du Rhône, de Lyon à la mer, 375 à 386.
Bœck (Ch.), 493.
Bœthlingk, 395, 397, 415, 465.
Brard, 2.
Braun (Alexandre), 362, 379, 385.
Bravais (Auguste), 242, 401, 465, 477, 478, 488, 494, 504, 509, 510.
Brogniart (Alex.), 408, 415, 473, 477.
Bronn, 397, 411.
Buch (de), 23, 29, 34, 55, 141, 146, 152, 154, 378, 387, 432, 455, 462, 477, 486, 495, 535.
Buckland, 4, 536.
Buvignier, 297.

C

Cabot, 534, 553.
Candolle (de), 495.
Carrière, 267.
César, 69.
Chamousset (abbé), 375.
Chaperon, 337.
Charpentier (de), Phénomènes erratiques dans les Alpes, 1 à 59.
Charpentier (de), 145, 148, 152, 155, 168, 171, 230, 274, 380, 381, 382, 384, 385, 387, 431, 438, 440, 455, 461, 491, 496, 534, 558, 710.
Charpentier (T. de), 379, 506, 512, 524.
Chihacheff, 587.
Claudel, 267.
Clément-Mullet, 267.
Collegno (de), 446, 458.
Collene, 267.
Collin, 267.
Collomb (Ed.), Phénomènes erratiques dans les Vosges, 193 à 265.
Collomb (Ed.), 267, 269, 271, 273, 274, 276, 281, 282, 286, 326, 334, 361, 362, 365, 535, 542.
Constant-Prévost, 483.
Contejean, 190.
Cornull, 267.
Coulon, 410.
Croz (du), 119.
Czizeck, 365.

D

Darwin, 536, 584, 593.
Daubrée (A., ingénieur en chef au corps des mines), Alluvions anciennes et modernes d'une partie du bassin du Rhin, 333 à 369.
Daubrée, 309, 310, 320, 322, 409, 416, 477, 486, 607, 608.
Defontaine, 321, 343.
Delangle, 527.
Delbleye, 267.
Delesse, 267, 282, 284, 285, 289.
Desor (Ed.), Phénomènes erratiques en Scandinavie comparés à ceux des Alpes, 387 à 413.
Desor (Ed.), 255, 256, 272, 472, 475, 481, 486, 598, 889, 890.
Desoudin, 267.

DEVILLE (Marie, de Chamounix), 2.
DIDIER (George), 267.
DOLLFUSS (Gustave), 267, 447.
DOLLFUS-AUSSET, Annotations, 1, 5, 6, 12, 16, 20, 38, 40, 41, 48, 54, 61, 69, 97, 100, 102, 129, 131, 132, 140, 140, 150, 157, 177, 181, 182, 183, 184, 186, 193, 195, 197, 202, 204, 205, 207, 215, 216, 224, 231, 239, 241, 243 246, 249, 250 251, 253, 257, 258 259, 260, 265 267, 272, 273, 275 277, 278, 287 288, 291, 307, 324 326, 329, 330 333, 335, 369, 378 390, 392, 396 415, 417, 418, 420 421, 423, 425 429, 431, 433, 435 438, 440, 442 443, 444, 446, 447 448, 449, 450 451, 453, 456, 458 459, 460, 462 467, 472, 476, 482 491, 505, 506 508, 509, 511, 512 513, 515, 516 523, 535, 541, 542 547, 549, 554, 562, 563, 565, 568, 576, 579, 585, 588, 589, 590, 591, 593, 596, 599, 602, 607, 610, 612, 613, 614, 618, 625, 629, 633, 643, 644, 645, 646, 654, 687, 698, 710, 713.
DOLLFUS-AUSSET, 248, 267, 272, 475, 478, 542.
DOLOMIEU (de), 118.
DUFRÉNOY, 356.
DUPONT, 446.
DURAND (LÉON), 267.
DUROCHER, Phénomènes erratiques de la Scandinavie, 415 à 446.
DUROCHER (E.), 220, 388, 394, 397, 398, 408, 465, 466, 467, 469, 470, 471, 472, 474, 475, 476, 477, 478, 479, 480, 481, 482, 487, 493.
DUTAC, 267.

E

EBEL, 502, 521.
ESCHER (Arnold), 143.
ESCHER VON DER LINTH, 55, 141, 150, 240, 378, 398, 440, 470, 471, 495, 523, 535.
ESCHER VON DER LINTH et HEER (Oswald), Phénomènes erratiques en Suisse, 151 à 176.
ESCHER père, 153, 535.
ESMARK (Christiania), 4, 407.

F

FABVRE (lieutenant de vaisseau), 493.
FAUJAS (de), 118.
FORBES, 157, 462, 474, 535, 536
FORCHHAMMER (G.), 175, 387, 394, 399, 409, 424, 472, 473.
FORSELL, 417.
FOUR, 267.
FOURNET (prof.), 376, 377, 379, 384.
FRANCKLIN, 480.
FRŒBEL, 17.
FROMHERZ (professeur), 154, 359, 371, 372.

G

GAHON, 267.
GAIMARD (Paul), 493.
GASTALDI et MARTINS, Terrain erratique de la vallée du Pô, aux environs de Turin, 557 à 560.
GASTALDI, 267.
GAULARD, 296, 630.
GILBERT, 524.
GILES, 527.
GŒTHE (1829), 4, 5.
GRESSLY, 178.
GRILLOT, 267.
GRUNER, 523.
GUIBAL, 267.
GUIMPS (de), 2.
GUYOT (A.), Phénomène erratique dans les Alpes, 140 à 150
GUYOT (A.), 152, 153, 177, 334, 352, 381, 398, 440, 470, 491, 535.

H

HALLER (de), 131.
HALLER (Albert de), 523.
HARSTER, 117.
HAXO, 267.
HEER (Oswald), 150.
HEER (Oswald) et ESCHER VON DER LINTH, Phénomènes erratiques en Suisse, 151 à 176.
HISINGER, 417, 471, 473.
HOFFMANN, 507, 520.
HOGARD (Henri), Phénomènes erratiques dans les Vosges, 291 à 305. — Phénomènes erratiques entre Bâle et Coblence, 307 à 332.
HOGARD (Henri), Dépôts erratiques dans la vallée du Rhin, 607 à 624.
HOGARD (Henri), Dépôts erratiques de la vallée de la Meuse, 627 à 638.
HOGARD (Henri), Moraine profonde du glacier de l'Aar, 638 à 715.
HOGARD (Henri), 219, 220, 227, 231, 239, 257, 265, 267, 268, 269, 270, 271, 272, 273, 276, 277, 334, 542, 598.
HOOKER (Joseph, Dr), 599.
HUGI, 495, 497, 498, 500, 502, 503, 504, 516.

I

IDOUX, 267.

J

JACKSON (docteur), 255, 504.
JACQUEL (abbé), 267.
JAUN (Hans), guide, 376, 447.
JOURDAIN, 267.

K

KÆMTZ, 503, 504, 510, 512.
KARSTEN, 119.

KEILHAU, 394, 395, 396, 402, 407, 416, 465, 466, 472, 477, 493, 498, 500, 501, 517.
KELLER, 390.
KLEINJOGG, 167.
KŒCHLIN-SCHLUMBERGER, 361.

L

L.... (J.), pionnier, 531.
LACHLAN, 536.
LÆSTADIUS (L. L.), 493.
LAHÉRARD fils, 267.
LAISEZ (de), 29.
LAMANON (chevalier de), 119, 125, 126.
LARDY, 190, 191.
LASTEYRIÉ (de), 515.
LATTA, 493, 497, 498, 501, 517.
LAURENT, 267.
LE BLANC, 217, 231, 281, 372.
LEDRU, 341, 343.
LEGROM, 337.
LÉONARD (de), 47, 397.
LEROY, 267.
LESAIGNE, 267.
LEVALOIS, 267, 276, 297, 630.
LOGAN, 553.
LORY, 177, 182, 185, 267.
LOVEN, 402, 472, 473.
LUC (Jean-André de), 3, 20, 41, 80, 89, 90, 94, 105, 111, 136, 455, 517, 522, 523, 535.
LYELL, 4, 408, 410, 471, 473, 474, 491, 520, 536.

M

MAIRE, 267.
MAREINE, 267.
MARTENS, 493.
MARTINET, 267.
MARTINS (Ch.), Phénomènes erratiques de la Scandinavie, 465 à 483. — Transport de certains blocs erratiques de la Scandinavie et de l'Amérique du Nord, 485 à 492. — Glaciers du Spitzberg, 493 à 528.
MARTINS (Charles), 177, 189, 228, 242, 267, 269, 270, 271, 272, 277, 279, 280, 285, 334, 349, 390, 398, 404, 535.
MARTINS (Ch.) et GASTALDI (B.), Terrains erratiques de la vallée du Pô, aux environs de Turin, 557 à 560.
MARTINS (Ch.) et GASTALDI (B.), 610.
MATHIEU, 267.
MAUD'HEUX, 267.
MERIAN (Peter, professeur), 189, 190, 267, 346, 347.
MICHEL (professeur), 100.
MICHELIN (Ard.), 267.
MONE, 356.
MORLOT (de), 364, 365.
MOROZZO (comte de), 114.
MOUGEOT père, 267.
MOUGEOT fils, 267.
MOURON (pasteur), 49.
MOUSSON, 381.
MOYNIER (Eugène), 267.
MOYON (Benito), 267
MURCHISON, 393, 397, 409, 411, 412, 416, 417, 431, 433, 485, 486, 487, 488, 490, 535.
MURITH, 21, 97, 98, 101, 102.

N

NAUMANN, 486, 496.
NECKER (L. A.), 152, 375, 377, 398.
NECKER DE SAUSSURE, 174.
NILSON, 410.

P

PACINI, 520.
PARANDIER, 267.
PARRY, 480, 493.
PELTIER, 510.
PERRAUDIN (J. P.), chasseur de chamois, 1, 155.
PERREAU, 267
PETITMONGIN, 267.
PFIFFER (général), 86.
PHÉNOMÈNES ERRATIQUES DANS LES VOSGES, Société géologique de France. Réunion extraordinaire, 267 à 290.
PHIPPS, 493, 501, 516.
PICTET, 89, 90, 94, 98, 104.
PIDANCET, 177, 182.
PION, 267.
PLAYFAIR (1815), 4, 177
PŒPPIG, 384.
PRÉVOTEL (Vict.), 267.
PRUNELLE DE LIERRE, 119, 120.
PUSCH, 229.
PUTON (Ernest), 267.

Q

QUIQUEREZ, 178, 187.

R

RAMSAY, A. C. F. R. S. and G. S., Phénomènes erratiques en Angleterre, 561 à 599.
RAPPIN, 267.
RENOIR, 217, 267, 334.
REQUIEN, 383.
RITTER, 175.
RIVIÈRE, 459.
ROBERT (E.), 415, 493, 516.
ROSS, 517, 522.
ROUVILLE (Paul de), 267.
ROYER (Ernest), 267, 269, 270.
ROZET, 442.
RUAULX, 267.
RUPPER (Jean-Baptiste), montagnard, 10.

S

SAGE, 109.
SAINT-RÉAL (de), 112.
SAUSSURE (de), Pierres … erratiques dans les Alpes, 61 à 130.
SAUSSURE (de), 41, 100, 154, 157, [illegible], 381, 384, 3[illegible], 455, 4[illegible]3, 4[illegible]5, 4[illegible], 497, 4[illegible], 502, 503, 5[illegible]7, 5[illegible], 516, 523, 524, 555.
SAUVAGE, 297.
SAUVAGE et B[illegible], 63[illegible].
S[illegible], [illegible] 391, 3[illegible]3, 477.
S[illegible] (W. P.), 24[illegible], 2[illegible]7, [illegible], 47[illegible], 471.
S[illegible], 4[illegible], 4[illegible]3, 4[illegible]4, 497, 4[illegible], 50[illegible], 501, 5[illegible]3, 51[illegible], 5[illegible]7, 52[illegible].
S[illegible], 415, 4[illegible]5, 47[illegible] 53[illegible]
S[illegible], 74.
S[illegible], 3[illegible]4, [illegible], [illegible], 41[illegible], 42[illegible], 4[illegible]5, 4[illegible], 47[illegible], 4[illegible], 4[illegible]3.
S[illegible], 402, 5[illegible].
S[illegible], 2[illegible].
STEENSTRUP, 4[illegible]
S[illegible] (professeur), 554.
STUDER (B.), professeur de géologie, 4, 42, 43, 47, 5[illegible], 5[illegible], 152, 15[illegible], 171, 177.

T

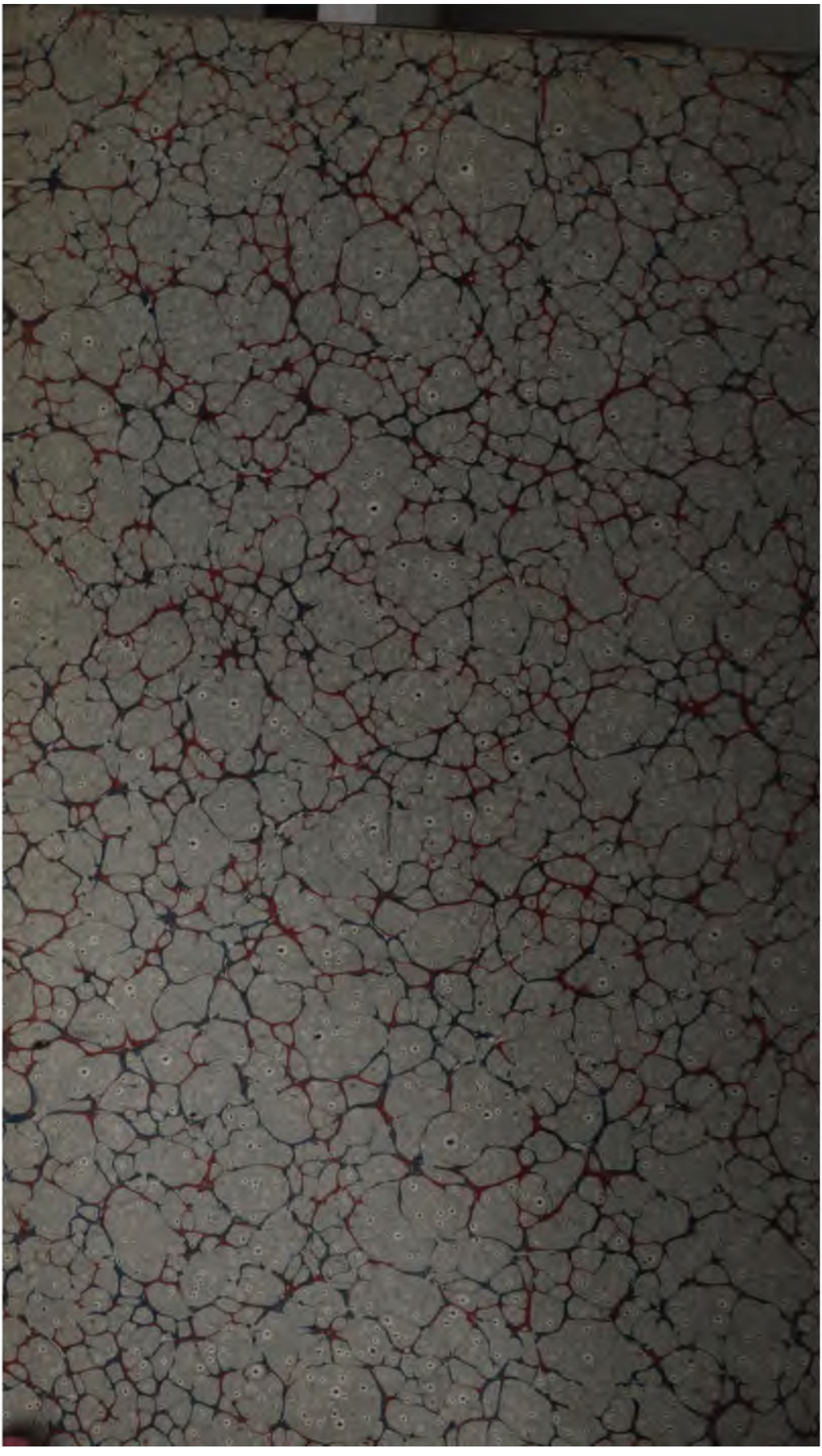
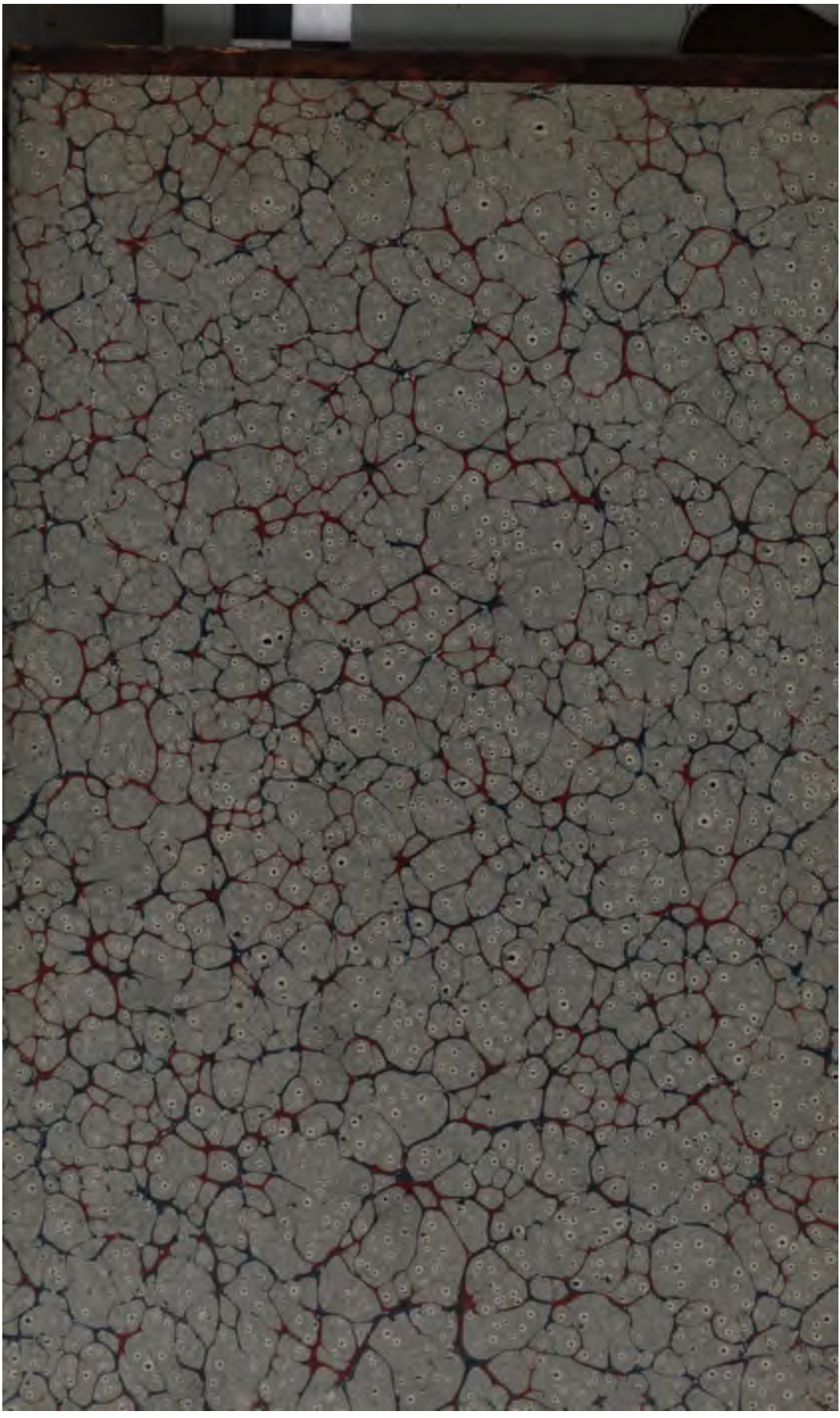
T[illegible]MANN, [illegible]2.
T[illegible], 2[illegible]7.
T[illegible] (A[illegible]), 2[illegible]
T[illegible] M[illegible], 47.
T[illegible]MANN, 3[illegible], 42, 17[illegible]
TOCQUEVILLE, 2[illegible]7
TREMBLEY, 44, [illegible]
TRIMMER, 5[illegible], 5[illegible]2
T[illegible], 35[illegible]
TYNDALL (John), [illegible] les Alpes, [illegible]
TYNDALL (John), 58[illegible]

V

VAEL (S.), 4[illegible]
VANDERL, 2[illegible]7
V[illegible], 2[illegible]7
VENETZ (Ignace), [illegible], 523
VENTURI, [illegible]
VERNET [illegible], 48[illegible], 5[illegible]
VICTOR AMÉDÉE, [illegible]
V[illegible], [illegible]

W

W[illegible], [illegible]
W[illegible]
W[illegible]
W[illegible]
W[illegible]
W[illegible]
W[illegible]

Z

Z[illegible], 2[illegible]